

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BOLOGNA

Dottorato di ricerca in Colture Erbacee, Sistemi
Agroterritoriali e Genetica Agraria
XXI ciclo

Settore scientifico disciplinare di afferenza: AGR02

Indicatori per il Monitoraggio Ambientale

Dr.ssa Rosanna Epifani

Coordinatore del dottorato: **Prof. G. Dinelli**

Tutore: **Prof. A. Vicari**

Co-Tutore: **Dr. G. Vitali**

Esame Finale anno 2009

FACOLTA' DI AGRARIA

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambienta

*“Un’emozione in un bosco a primavera
può insegnarci di più sull’uomo,
di più sul bene e sul male
di quanto possano tutti i sapienti.”*

W. Wordsworth, Il Rovescio della Medaglia.

Indice

PARTE GENERALE

Introduzione

1 Definizione di indicatore	Pag. 1
1.1 <i>Caratteristiche degli indicatori</i>	Pag. 2
1.2 <i>Scelta degli indicatori</i>	Pag. 3
1.3 <i>Gli indicatori Agro-Ambientali nel modello DPSIR</i>	Pag. 3
1.4 <i>La legislazione Europea e i progetti sugli indicatori</i>	Pag. 5
2 Gli indicatori ambientali	Pag. 6
2.1 <i>Indicatori per il comparto aria</i>	Pag. 7
2.2 <i>Indicatori per il comparto idrologico</i>	Pag. 8
2.3 <i>Indicatori di gestione aziendale</i>	Pag. 8
2.4 <i>Indicatori di biodiversità</i>	Pag. 8
2.5 <i>Indicatori Paesaggistici</i>	Pag. 9
3 Indicatori per il comparto suolo	Pag. 9
3.1 <i>Il modello DPSIR per il comparto suolo</i>	Pag. 9
3.2 <i>Indicatori per la qualità del suolo</i>	Pag. 10
3.2.1 <i>Indicatori statici per la qualità del suolo</i>	Pag. 11
3.2.2 <i>Indicatori dinamici per la qualità del suolo</i>	Pag. 11
4 Bioindicatori	Pag. 12
4.1 <i>Biondicatori per il comparto aria</i>	Pag. 12
4.1.1 <i>Biondicatori per l'ozono e gli ossidi di azoto</i>	Pag. 12
4.1.2 <i>Biondicatori per l'ammonio atmosferico</i>	Pag. 13
4.1.3 <i>I licheni come biondicatori del comparto aria</i>	Pag. 13
4.1.4 <i>Le api come biondicatori del comparto aria</i>	Pag. 14
4.2 <i>Biondicatori per il comparto idrologico</i>	Pag. 14
4.3 <i>Biondicatori di diversità floristica</i>	Pag. 15
5 Biondicatori per il comparto suolo	Pag. 17
5.1 <i>Popolazione microbica come bioindicatore</i>	Pag. 18
5.1.1 <i>Carbonio della biomassa microbica</i>	Pag. 19
5.1.2 <i>Carbonio della biomassa/TOC</i>	Pag. 19
5.1.3 <i>La respirazione del suolo</i>	Pag. 19
5.1.4 <i>Quoziente metabolico (qCO_2)</i>	Pag. 20
6 Monitoraggio ambientale	Pag. 20
6.1 <i>Biomonitoraggio ambientale</i>	Pag. 21
6.1.1 <i>Bioindicazione e Bioaccumulo</i>	Pag. 22
6.2 <i>Biomonitoraggio del suolo</i>	Pag. 22
6.2.1 <i>Metodi di valutazione quantitativa dei batteri edafici</i>	Pag. 23
6.2.2 <i>Metodi di valutazione qualitativa dei batteri edafici</i>	Pag. 24

6.3 Limiti e vantaggi del biomonitoraggio	Pag. 24
7 Agricoltura e Ambiente	Pag. 24
7.1 Il metodo di produzione biologica tra vantaggi e svantaggi	Pag. 25
7.2 La legislazione sul metodo biologico	Pag. 26
7.3 L'agricoltura Biologica a livello nazionale	Pag. 27
7.4 L'agricoltura Biologica in Emilia Romagna	Pag. 28
7.5 I progetti di ricerca sull'agricoltura biologica	Pag. 29
7.5.1 Progetto SABIO	Pag. 29
8 Impatto dell'Agricoltura Biologica sull'agroecosistema	Pag. 30
8.1 Le esternalità dell'agricoltura biologica	Pag. 30
8.2 Effetti della gestione biologica sulla biodiversità	Pag. 31
8.3 Effetti della gestione biologica sulla gestione del suolo	Pag. 32
8.4 Confronto tra metodo convenzionale e metodo biologico	Pag. 33

PARTE SPERIMENTALE

Materiali e Metodi	
Obiettivi della ricerca	Pag. 34
1. La scala usata per la selezione degli indicatori	Pag. 36
2. Gli indicatori selezionati	Pag. 36
3. Le aziende selezionate	Pag. 36
3.1 Caratteristiche delle aziende di collina	Pag. 37
3.2 Caratteristiche delle aziende di pianura	Pag. 40
4. Protocollo di rilievo	Pag. 41
4.1 Campionamenti	Pag. 41
4.2 Analisi di laboratorio	Pag. 42
4.2.1 Contenuto di sostanza organica	Pag. 43
4.2.2 Respirazione microbica	Pag. 43
4.2.3 Salinità del suolo	Pag. 44
4.2.4 Azoto totale dei suoli	Pag. 45
4.2.5 Fosforo assimilabile	Pag. 45
4.3 Rilievi floristici	Pag. 46
4.3.1 Diversità di specie (erbacee-arbustive-arboree)	Pag. 46
4.3.2 Ricchezza di specie (erbacee-arbustive-arboree)	Pag. 47
4.3.3 Diversità di specie erbacee	Pag. 47
4.3.4 Ricchezza di specie erbacee	Pag. 47
4.4 Rilievi cartografici	Pag. 48
4.4.1 Definizione del concetto di bordo e semi-bordo	Pag. 48
4.4.2 Superfici naturali	Pag. 51
4.4.3 Numero degli ambienti naturali	Pag. 52
4.4.4 Lunghezza delle siepi	Pag. 52
4.4.5 Lunghezza rete scolante superficiale funzionante	Pag. 52

<i>Risultati e Discussione</i>	
<i>1. Campionamenti e Analisi di laboratorio</i>	Pag. 53
<i>1.1 Contenuto di sostanza organica</i>	Pag. 53
<i>1.2 Respirazione microbica</i>	Pag. 54
<i>1.3 Salinità del suolo</i>	Pag. 57
<i>1.4 Azoto totale dei suoli</i>	Pag. 58
<i>1.5 Fosforo assimilabile</i>	Pag. 59
<i>2. Rilievi floristici</i>	Pag. 61
<i>2.1 Diversità di specie (erbacee-arbustive-arboree)</i>	Pag. 61
<i>2.2 Ricchezza di specie (erbacee-arbustive-arboree)</i>	Pag. 65
<i>2.3 Diversità di specie erbacee</i>	Pag. 67
<i>2.4 Ricchezza di specie erbacee</i>	Pag. 69
<i>3. Rilievi cartografici</i>	Pag. 69
<i>3.1 Superfici naturali</i>	Pag. 69
<i>3.2 Numero degli ambienti naturali</i>	Pag. 71
<i>3.3 Lunghezza delle siepi</i>	Pag. 76
<i>3.4 Lunghezza rete scolante superficiale funzionante</i>	Pag. 76
<i>5. Considerazioni conclusive sugli indicatori esaminati</i>	Pag. 79
<i>Conclusioni</i>	Pag. 82
<i>Bibliografia</i>	Pag. 84

Riassunto

Il presente lavoro ha come scopo la valutazione, da un punto di vista agronomico, degli agroecosistemi, la caratterizzazione dei quali ha previsto l'uso di indicatori, come strumenti per il confronto spazio-temporali degli scenari presi in esame. Fissato come obiettivo il confronto tra agricoltura biologica e convenzionale, sono stati selezionati indicatori atti a valutare le esternalità che l'uno o l'altra conduzione hanno sul sistema agricolo. Gli indicatori sono stati scelti tenendo presente la scala e pertanto sono stati analizzati parametri sia aziendali che parcellari. Il confronto fra i due tipi di conduzione, ha inoltre considerato due tipi di scenari: la collina e la pianura. Per ogni scenario sono state scelte due coppie di aziende, rispettivamente una a conduzione convenzionale e una biologica. La metodica usata ha previsto campionamenti del suolo su cui sono stati poi eseguite analisi di laboratorio per la stima di parametri chimici-fisici. Gli indicatori valutati in laboratorio sono stati: contenuto di sostanza organica, respirazione microbica, salinità e contenuto di azoto e fosforo. Dati di biodiversità sono stati dedotti con i rilievi vegetazionali e mediante sopralluoghi aziendali. Fra questi, la diversità e la ricchezza di specie, mediante metodica Braun Blanquet e la diversità e la ricchezza delle sole specie erbacee infestanti. Elaborazioni cartografiche sono state eseguite per la valutazione di indicatori paesaggistici, come numero e superfici naturali, lunghezza delle siepi e della rete scolante aziendale. Fra gli indicatori valutati, quelli relativi alla biodiversità vegetale sono risultati i più idonei a discriminare le due conduzioni nei due scenari. Essi hanno mostrato un incremento di diversità e di ricchezza di specie vegetali nella gestione organica più che in quella convenzionale. Dati meno confortanti sono stati ottenuti dalle analisi di laboratorio, le quali non hanno permesso di discriminare le due conduzioni sia nello scenario di pianura che in quello di collina. I risultati relativi a rilievi cartografici hanno rappresentato molto bene l'eterogeneità del paesaggio, meno le differenze tra le due conduzioni.

Nel complesso gli indicatori scelti e la metodica usata sono risultati validi strumenti d'indagine per discriminare la conduzione biologica da quella convenzionale, mettendo in luce i vantaggi che la gestione organica può avere a livello ambientale.

Introduzione

1 Definizione di indicatore

Negli ultimi anni l'interesse verso lo studio dei sistemi agricoli ha accresciuto la necessità di disporre di strumenti d'indagine che permettono la caratterizzazione di sistemi agro-ambientali dal punto di vista agronomico, economico ed ecologico (Bockstaller e Girardin, 1996; Vazzana et al., 1996).

Tali valutazioni richiedono analisi rapide ed efficaci nonché confronti nel tempo e nello spazio pur mantenendo un'accettabile livello qualitativo delle stime. A tal proposito nascono mezzi che forniscono indicazioni e valutazioni sui fenomeni in atto.

Questi strumenti, adeguati a rappresentare l'insieme dei sistemi complessi, prendono il nome di indicatori. Un indicatore è un attributo, generalmente fisico, che caratterizza in maniera quantitativa o qualitativa, una qualunque condizione dell'entità osservata (Giupponi, 1998; Benedetti e Bertoldi, 2000), sia con funzione conoscitiva, sia come base per gli interventi di Decision Maker. Qualsiasi parametro può essere un indicatore purché possa essere interpretato in chiave valutativa favorendo così l'analisi di situazioni complesse, la rappresentazione sintetica del comportamento di un'entità nonché il trasferimento di informazioni ad organi decisionali. Agli indicatori si chiede, oltre che rappresentare lo stato dei nostri sistemi, di orientare i sistemi di governo e i programmi d'azione nonostante essi abbiano un pur minimo contenuto soggettivo, influenzato dalla formazione dell'operatore che ne fa uso. La loro valutazione va quindi associata ad una stima, denominata criterio, che rappresenta l'interfaccia tra sistema fisico studiato e operatore (sistema uomo).

La relazione fra indicatori ed entità da studiare, le potenzialità descrittive e le comparazioni spazio temporali delle indicazioni ottenute sono molto delicate. E' opportuno definire i termini che sono spesso fonte di confusione, discutendo gli eventuali accorgimenti da adottare per il corretto uso degli indicatori.

L'OECD (1999) definisce:

- *parametro*, una proprietà del sistema in studio misurabile in modo diretto;
- *indicatore*, valore derivante dal parametro e mediante il quale è possibile ottenere informazioni;
- *indice*, aggregazione di indicatori e relative indicazioni (figura 1).

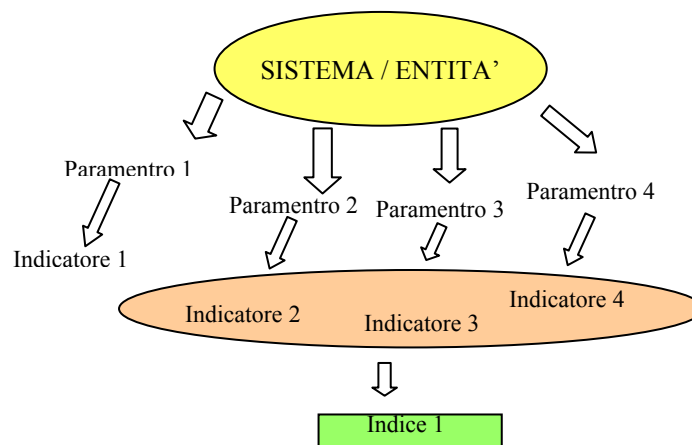


Figura 1 – Relazione tra parametri, indicatori e indici (Silvestri et al., 2002).

Secondo Malcveschi (1984), gli indicatori possono essere suddivisi in tre grandi gruppi:

- *indicatore di stato*, inteso come una caratteristica del sistema;
- *indicatore di processo (causa, effetto, sintomo)* che rappresenta la conseguenza di un determinato aspetto dell'entità studiata. Quest'indicatore descrive con prontezza e fedeltà i cambiamenti subiti dall'entità (frana, erosione, ecc);
- *indicatore di co-occorrenza statistica*, il quale non è direttamente correlato con l'entità studiata. Attraverso questo indicatore possono essere avanzate previsioni dello stato del sistema in questione (minore ampiezza della SAU contro intensificazione degli ordinamenti produttivi).

Prima di procedere all'impiego di un indicatore è quindi opportuno far fronte al soddisfacimento empirico per gli indicatori di stato e di processo e alla valenza convenzionale per gli indicatori di co-occorrenza statistica.

1.1 Caratteristiche degli indicatori

Gli aspetti che influenzano le potenzialità d'impiego degli indicatori sono legati tanto alle loro proprietà che alla loro rilevanza politica. Un buon indicatore dovrebbe essere rappresentativo, ossia correlabile con il fenomeno da controllare, facilmente misurabile ed avere un'adeguata valenza analitica intesa come base tecnico-scientifica di modelli standard internazionali. Altre caratteristiche degli indicatori sono la precisione e la chiarezza delle informazioni ottenute, ma anche la sensibilità intesa come capacità di descrivere prontamente i cambiamenti spazio-temporali. Uno dei limiti degli indicatori è sicuramente la valutazione da attribuirne a ciascuno.

L'interpretazione fisica ("peso") da assegnare all'informazione ottenuta che risulta altamente soggettiva con valenza politica-culturale più che tecnico-scientifica.

1.2 Scelta degli indicatori

Dal punto di vista operativo la scelta di un indicatore deve tenere conto dello specifico obiettivo prefissatosi nell'indagine. La scelta segue un primo criterio di ammissibilità in funzione dello scopo da perseguire, subordinato, secondo Malczewsky (1999) ai principi di comprensibilità e misurabilità. L'obiettivo fornisce direttive ben precise sia sul monitoraggio dei dati, sia sul tipo e numero di variabili necessarie all'elaborazione dell'indicatore. Una scelta sbagliata può influenzare l'aderenza dei risultati alla realtà, portando ad una valutazione relativa più che assoluta (Stöckle et al., 1994). Occorre stabilire dunque il giusto tipo e numero di indicatori necessari per raggiungere i traguardi prefissati.

Qualora si perseguisse come scopo la descrizione o l'evoluzione del sistema nel tempo si prediligeranno indicatori di stato; per l'analisi del comportamento del sistema si sceglieranno indicatori diagnostici; indicatori di compatibilità ambientale, nel caso si voglia confermare il raggiungimento di standard prefissati.

Queste categorie si rifanno alla classificazione di Carlise (1972) che suddivide gli indicatori in:

- informative indicator
- problem-oriented indicator
- programme-evaluation indicator.

1.3 Gli indicatori Agro-Ambientali nel modello DPSIR

In un contesto agro-ambientale gli indicatori sono usati per valutare non tanto la convenienza economica delle scelte operate dagli agricoltori, quanto le "esternalità", cioè i fenomeni esterni al mercato. La stima delle "esternalità" attraverso gli indicatori è la valutazione dell'impatto ambientale che le tecniche agronomiche hanno sul sistema agricolo (Bechini et al. 2001). Gli indicatori agro ambientali, infatti, contribuiscono a trasferire i dati fisici ed economici sulle attività umane e sulle condizioni dell'ambiente in informazioni utili a livello decisionale. Essi, fornendo informazioni sugli effetti che le pratiche agronomiche hanno sull'ambiente, porgono spunti riflessivi finalizzati alla revisione delle misure agroambientali.

Lo studio degli ecosistemi, mediante indicatori, fa riferimento al modello PSR proposto da Anthony Friend negli anni 70. Tale modello Pressione-Stato-Risposta (PSR) evidenzia le

relazioni tra sistemi ambientali e attività antropiche. Esso è basato sul concetto di causalità: le attività umane esercitano pressioni sull'ambiente e modificano la qualità e la quantità delle risorse, cioè lo stato dell'ambiente. Le risposte della società a tali cambiamenti avvengono attraverso politiche ambientali, economiche e settoriali, determinando un ciclo retroattivo con le pressioni e determinando altre attività e altri impatti sull'ambiente. Questo modello si basa sul concetto di causa/effetto e prevede una serie di indicatori ambientali suddivisi in:

- indicatori di pressione, ossia le attività umane che costituiscono fonti di pressione sui vari comparti ambientali. Tra questi indicatori troviamo l'uso del territorio, di acqua e di energia;
- indicatori di stato, cioè la qualità dell'ambiente e le sue alterazioni;
- indicatori di risposta, provvedimenti atti a migliorare lo stato dell'ambiente.

Nel 1995 l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) modificò il modello PSR in DPSIR (Driving Force, Pressure, State, Impact and Response) (Jesinghaus, 1999) riportato in figura 2.

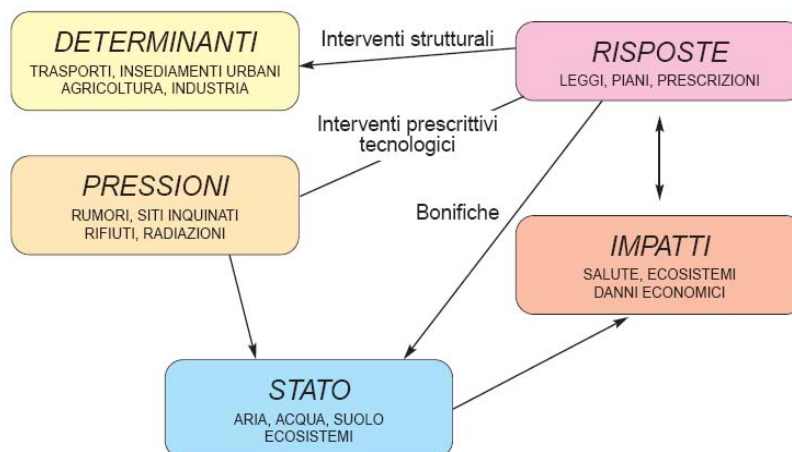


Figura 2 – Schema DPSIR (Nappi, 2000)

Nel nuovo modello, ai precedenti indicatori vennero aggiunti:

- indicatori di cause primarie (Driving Force), intesi come settori economici e attività umane che inducono le pressioni (sviluppo demografico, modelli di produzione e consumo, crescita della domanda delle risorse);
- indicatori di impatto (Impact) che descrivono gli effetti sull'ecosistema e sulla salute umana, derivanti dai fattori di pressione ambientale.

Nel DPSIR dunque le Driving Force sono i processi socio-economici; le Pressure sono processi causati, quindi gli effetti delle Driving Force; gli States sono i mutamenti subiti dall'ambiente per effetto delle Pressure; gli Impacts sono le ripercussioni negative sull'ambiente e le Responses sono le decisioni e i provvedimenti politici come leggi, piani e direttive.

1.4 La legislazione Europea e i progetti sugli indicatori

Circa il 40% della superficie totale dell'Unione Europea è destinata all'agricoltura. A differenza dei sistemi naturali, dove le perturbazioni sono dovute a fluttuazioni meteo-climatiche, nei sistemi agricoli le perturbazioni sono da imputare alle azioni antropiche che inibiscono gli equilibri naturali a favore del processo produttivo. Da ciò deriva la sensibilità che le politiche della Comunità Europea hanno verso la tutela e la sostenibilità ambientale.

Il concetto di sostenibilità si è affermato, come obiettivo della PAC, già agli inizi degli anni 80. Col trattato di Amsterdam (17 giugno 1997) l'UE confermò l'impegno per migliorare e garantire l'efficacia della politica a favore di uno sviluppo sostenibile. Tale impegno fu poi sancito con la Comunicazione del 1999 "orientamenti per un'agricoltura sostenibile" (contenuta nel pacchetto di riforme comunitarie Agenda 2000). Questa comunicazione ribadiva l'obbligo di adottare misure per garantire regimi agroambientali rispettosi delle risorse naturali, attribuendo all'agricoltura rilevanza economica, ambientale e paesaggistica e fornendo anche lo spunto per la creazione di un set di indicatori ambientali. La comunicazione contiene un'esplicita richiesta ai Paesi membri di costruire un sistema di monitoraggio, reporting e valutazione basato sull'identificazione di opportuni indicatori statistici. Questi indicatori sono descritti nella Comunicazione intitolata "Indicatori agro-ambientali" (COM 2000 20 UE) e in "Informazioni statistiche necessarie per gli indicatori intesi a monitorare l'integrazione della problematica ambientale nella PAC" (COM 2001 144 UE). Attraverso queste comunicazioni la commissione dell'Unione Europea definisce le linee guida per la valutazione e monitoraggio delle politiche agricole sulle risorse ambientali (Lazzerini et al., 2001).

Ad oggi, sono la riforma della PAC del 2003 e la Comunicazione COM 2006 508 le normative più recenti verso la sostenibilità ambientale ed è proprio a garanzia di queste riforme che gli indicatori si collocano come strumenti di misura della sostenibilità.

Questi due provvedimenti hanno supportato azioni di monitoraggio ambientale basandosi sulla lista stabilita dalla stessa Commissione Europea ("Towards Environmental Pressure Indicators for the UE", Eurostat, 1999) anche se si è ormai compresa la necessità di lasciare alle singole

comunità l'autonomia di selezionare gli indicatori più adatti alla situazione locale per meglio rappresentare la specificità ambientale.

Sulla base di questa ampia libertà sono stati sostenuti progetti, nazionali ed internazionali, che dipartono da sintesi di analisi dell'OECD (organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico) e dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA).

Il progetto ELISA (Wascher, 1999- Environmental Indicators for Sustainable Agriculture) è stato, ad esempio, orientato a definire indici suddivisi in 5 temi: suolo, acqua, aria, biodiversità e paesaggio. Il progetto IRENA 2004 (Indicator Reporting on the integration of ENvironmental concerns into Agricultural policy) ha invece approfondito lo studio dei 35 indicatori identificati nella comunicazione UE (2000 e 2001) portando alla pubblicazione del rapporto Agriculture and Environment in EU-15 - The IRENA indicator report.

Il progetto PAIS (2002), pur avendo gli stessi obiettivi del progetto IRENA, ha proposto 115 indicatori suddivisi in 3 temi: paesaggio, pratiche agricole e sviluppo rurale.

A livello nazionale ricordiamo il progetto SINA, ad opera del Centro Tematico Nazionale Territorio e Suolo dell'APAT, nel quale vengono elaborati indicatori successivamente raggruppati da Nappi (2000) in tematiche sulla qualità dei suoli, la loro degradazione e contaminazione (ANPA, 2001). Indicatori di efficienza produttiva, stabilità e sostenibilità dell'ecosistema sono stati studiati nel progetto nazionale Vegineco (VEGetable INtegrated and ECOlogical production 1997-2001, Sukkl e Garcia Diaz, 2002).

Tutti questi progetti, seppur diversificati nell'elaborazioni degli indicatori, conseguono lo stesso obiettivo, rilevando l'importanza e il successo della vigilanza, del controllo e della valutazione delle politiche agricole.

2 Gli indicatori ambientali

A livello di agroecosistema l'uso di indicatori per l'analisi dei processi si basa su tre scale: azienda, sito e appezzamento (Pacini, 2002).

Per ogni scala possono essere usati indicatori sia di tipo abiotico che biotico. I primi, tramite rilevamento dei singoli parametri chimici-fisici, costituiscono l'approccio tradizionale allo studio ecosistemico. Meno diffusa e standardizzata è l'applicazione degli indicatori biotici. Attraverso quest'approccio le condizioni di un ecosistema possono essere valutate mediante parametri propri delle comunità biotiche, che costituiscono l'ambiente in studio e che risultano sensibili e selettivi nei confronti di azioni perturbatrici. Per ognuna delle scale scelte vengono infine attribuite

valenze diverse alle informazioni ottenute dagli indicatori al fine di evitare fenomeni di compensazione che tenderebbero a falsare le rispettive indicazioni.

Vari sono gli autori che si sono occupati di indicatori ambientali con lo specifico scopo determinare gli attributi di un sistema.

Lazzerini et al. (2001) ha scelto gli indicatori suddividendo l'ecosistema in sottosistemi ambientali: acqua, suolo, paesaggio e biodiversità (tabella 1).

Comparto	Indicatore	Unità di Misura
Acqua	Lunghezza rete scolante	Km ha ⁻¹
	Bilancio Azoto (input/output)	Kg ha ⁻¹
	Nitrati	Kg ha ⁻¹
	Bilancio Fosforo (input/output)	Kg ha ⁻¹
	Potenziale ruscellamento del Fosforo	Numero
Suolo	Erosione potenziale	Numero
	Salinità	μS cm ⁻²
	Azoto totale	‰
	Fosforo assimilabile	ppm
Paesaggio	% superficie lasciata ad habitat naturale	% SAU
	Diversità colturale	Numero
	Qualità elementi del paesaggio	Numero
Biodiversità	Copertura boschiva	Numero ha ⁻¹
	Biodiversità siepi	Numero ha ⁻¹
	Biodiversità specie erbacee	Numero ha ⁻¹
	Numero specie erbacee	Numero

Tabella 1 – Esempi di Indicatori Agro-ambientali e relative unità di misura (Lazzerini et al. 2001)

Bockstaller e Girardin (2003) invece hanno calcolato indici Diversità Colturale (IDC) e Successione Colturale (ISC) su scala aziendale e indici di Stabilità Coltura del territorio (DBT) calcolati su scala territoriale. Tali approcci evidenziano quanto sia importante frammentare il sistema in studio così da ottenere risultati quanto più congrui alla realtà. Di seguito vengono esposti alcuni esempi di comparti e relativi indicatori.

2.1 Indicatori per il comparto aria

Per il comparto aria, gli indicatori forniscono informazioni sull'inquinamento atmosferico da polveri sottili, biossido di zolfo, monossido di azoto e pollini aereodispersi. Vengono anche monitorati fenomeni strettamente associabili a tecniche agronomiche quali derive associate a trattamenti fitosanitari, spandimenti di liquami e concimazioni.

2.2 Indicatori per il comparto idrologico

Per il comparto idrologico, si vanno a monitorare sia i corsi superficiali che le falde sotterranee. La valutazione dei corsi d'acqua prevede l'analisi della qualità biologica, attraverso identificazione del fitoplancton, delle macrofite, di macroinvertebrati e fauna ittica. La qualità idromorfologica prevede indicatori di continuità e lunghezza fluviale mentre indicatori di qualità fisico-chimica analizzano parametri di temperatura, salinità e pH. L'indicatore della lunghezza della rete scolante viene, ad esempio, calcolato mediante individuazione cartografica della rete permanente funzionante (canali, capofossi). Il valore di questo indicatore viene espresso come km ha^{-1} .

2.3 Indicatori di gestione aziendale

Fra gli indicatori usati per la gestione aziendale, c'è il numero di rotazioni delle colture e l'energia primaria, intesa come consumo di energia per ettaro (Gj ha^{-1}) derivante da input diretti (combustibile) e indiretti (fertilizzanti). Vengono anche valutati indicatori di consumo di acqua aziendale sia essa intesa come acqua d'irrigazione che come consumo idrico per l'allevamento. Per questo indicatore, il consumo totale di acqua viene calcolato come rapporto tra quantità di acqua impiegata (consumo irriguo) e il reale fabbisogno irriguo, sommato al consumo degli allevamenti. Tale valore viene poi diviso per la SAU e espresso in $\text{m}^3/\text{ha}^{-1}$ SAU. In particolare, il consumo irriguo viene calcolato a partire dalle specifiche pluviometriche degli impianti irrigui utilizzati, mentre il fabbisogno considera parametri quali: processo produttivo, ETP e piovosità (della zona di ubicazione dell'azienda) oltre che le caratteristiche del suolo.

2.4 Indicatori di biodiversità

La biodiversità è valutata effettuando campionamenti a livello aziendale. Attraverso questi campionamenti sono valutabili indicatori di copertura boschiva e lunghezza delle siepi ma anche indicatori per il numero di specie erbacee totali e l'indice di diversità di Shannon per le specie erbacee (Farina, 1993). Quest'ultimo indicatore rappresenta la distribuzione spaziale (n ha^{-1}) delle colture erbacee all'interno dell'azienda. L'indicatore di copertura boschiva valuta invece la superficie coperta a bosco in relazione al totale di area agricola usata (SAU). La valutazione delle infrastrutture ecologiche (siepi) prevede una preliminare analisi mediante cartografia digitale

seguita da sopralluoghi per l'identificazione del numero reale di specie presenti. L'indicatore è espresso come lunghezza delle siepi (m) su ettari di superficie (SAU).

2.5 Indicatori Paesaggistici

Questa tipologia di indicatori valuta la qualità paesaggistica dell'azienda in studio. Le informazioni ottenute sono valutate attraverso indicatori di percentuale di superficie aziendale lasciato ad habitat naturale (Smending, 1995) e l'indice di diversità colturale di Shannon, che valuta la diversità degli elementi del paesaggio.

3 Indicatori per il comparto suolo

Gli indicatori per il comparto suolo, ampiamente approfonditi nella presente ricerca, meritano maggiori approfondimenti considerando anche la consapevolezza che hanno gli organi decisionali circa la protezione del suolo. Nel COM (179 2002) dal titolo “Verso una strategia tematica per la protezione del suolo” vengono tracciate le linee strategiche per una politica di salvaguardia del suolo nei prossimi anni.

Il suolo è un'entità complessa dove hanno sede interazioni tra componente biotica e abiotica, processi di degradazione e riciclo della sostanza organica. L'intensificazione delle attività agricole, intesa come pressione antropica sull'ambiente, risultano la principale causa di degradazione del suolo con conseguente riduzione della sua funzionalità e biodiversità. È proprio la degradazione del suolo che ha posto le basi per il monitoraggio attraverso l'uso di indicatori.

3.1 Il modello DPSIR per il comparto suolo

Il modello DPSIR è stato descritto nel paragrafo 1.3 dove è stata discussa la sua applicazione per lo studio di matrici agro-ambientali. Lo stesso schema può essere applicato al singolo comparto suolo. In questo caso ciò che varia non sono le finalità del metodo ma le singole voci correlate al suolo.

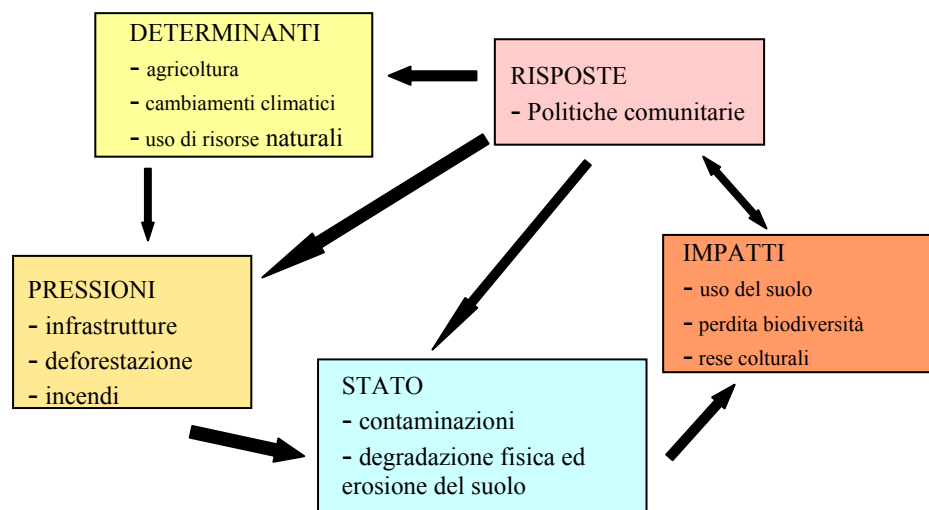


Figura 3 – Schema DPSIR per il comparto suolo (Nappi, 2000).

Fra i determinati del suolo troviamo: l’agricoltura, gli eventi naturali, i cambiamenti climatici e l’utilizzo delle risorse naturali (suolo, acqua). Le pressioni sono rappresentate da infrastrutture, deforestazione, incendi mentre gli stati sono le contaminazioni, acidificazioni, salinizzazione, degradazione fisica ed erosione del suolo. Gli impatti diretti sono i cambiamenti dell’uso del suolo, quelli indiretti sono la perdita di biodiversità, i cambiamenti delle rese colturali ecc. Le risposte sono lo sviluppo di politiche comunitarie in ottica di protezione del suolo e riforme PAC.

3.2 Indicatori per la qualità del suolo

Gli indicatori del suolo ne valutano la qualità e la “salute”, data la convinzione che esso è una componente vitale della biosfera per il mantenimento della qualità ambientale a livello locale e globale (Glanz, 1995). I concetti di qualità e salute del suolo, pur essendo molto simili, vanno ben distinti per la differente valenza ecologica-ambientale che essi hanno. Mentre la qualità, secondo Doran e Parkin (1994), è la capacità che ha il suolo d’interagire con l’ecosistema per mantenere la produttività biologica e la qualità ambientale, la salute è un concetto ecologico che relega il suolo ad organismo vivente e dinamico. Tutte queste proprietà sono legate tanto al concetto di capacità del suolo di “funzionare”, legato alle sue caratteristiche strutturali, quanto al concetto dinamico di “fitness for use”, cioè l’influenza delle attività umane sul suolo.

La valutazione di questi due aspetti avviene attraverso l’impiego di indicatori statici e dinamici che mettono in evidenza gli effetti della gestione del suolo sulle sue proprietà. Poiché la qualità e lo svolgimento delle funzioni del suolo dipendono dall’interazione degli aspetti chimico-fisici e

biologici, i parametri indicatori devono essere legati a tali aspetti e l'interpretazione deve tener conto di una valutazione integrata dei parametri misurati.

3.2.1 Indicatori statici per la qualità del suolo

Gli indicatori statici o all'equilibrio sono valutazioni del cambiamento della qualità del suolo nel lungo periodo. Parametri di tipo fisico e chimico sono indicazioni indispensabili per inquadrare lo stato del sistema suolo. Tra gli indicatori fisici ricordiamo la determinazione della tessitura come valutazione della ritenzione e disponibilità di acqua e nutrienti nell'ecosistema. Altri indicatori fisici sono l'umidità e la temperatura del suolo i cui valori vincolano e influenzano l'attività microbica edafica.

Fra gli indicatori chimici, invece, ci sono il pH e la conducibilità elettrica, come fattori direttamente correlati alla solubilizzazione degli elementi nutritivi e quindi alla loro disponibilità. Altri indicatori chimici sono il contenuto di sostanza organica e il rapporto Carbonio organico/N totale (C_{org}/N_{tot}). Il contenuto di sostanza organica viene usato al fine di una valutazione oggettiva di fenomeni di depauperamento o arricchimento dovuti all'attività agricola e viene calcolato tramite analisi chimiche (metodo Walkley e Black) oppure come stima di bilanci input/output. Fra gli input sono da annoverare i residui colturali, i sovesci e le letamazioni. Fra gli output ricordiamo le perdite di suolo per effetti di erosione. L'indicatore derivante dal rapporto tra C_{org}/N_{tot} (secondo metodi di analisi previsti D.M. del 01/08/97 e D.M. del 13/09/99) fornisce un'idea dei processi di trasformazione della sostanza organica del suolo.

3.2.2 Indicatori dinamici per la qualità del suolo

Nello studio della qualità del suolo, oltre ai classici parametri chimici-fisici, assumono importanza indicatori direttamente correlabili alla quantità e qualità della sostanza organica. Oltre agli indicatori statici sono stati perciò sviluppati indicatori di tipo dinamico, come descrittori di perturbazioni nel breve periodo. Questi indicatori sono legati alla disponibilità della sostanza organica, alla sua solubilità, al suo grado di evoluzione, intesa come sommatoria dei processi di degradazione ed umificazione. Questi sono tutti processi da imputarsi all'azione della componente biologica del suolo, intesa come la misura diretta dell'attività microbica e della composizione della microflora edafica. Gli indicatori dinamici sono di solito organismi biologici più o meno sensibili alle perturbazioni ambientali e che prendono il nome di bioindicatori. Le complesse interazioni che caratterizzano la fauna edafica e la stabilità della composizione delle

comunità microbiche del suolo, sono punti di partenza per la biondicazione, consentendo di quantificare i cambiamenti delle proprietà del suolo (van Straalen, 1998).

4 Bioindicatori

È prassi ormai consolidata affiancare ad indicatori abiotici anche indicatori biotici (o bioindicatori) per la valutazione di matrici complesse.

Secondo Iserentant e De Sloover (1976) un biondicatore è “organismo o sistema biologico usato per valutare una modificazione, generalmente degenerativa, della qualità dell’ambiente”. In base agli obiettivi viene scelto il bioindicatore più sensibile e preciso alla valutazione ambientale, considerando la stretta correlazione esistente tra materiale biologico e ambiente. Un bioindicatore può essere una comunità, una specie oppure una porzione di organismo, con lo scopo di fornire informazioni indirette dello stato ambientale. Le informazioni ottenute sono gli effetti e i relativi danni che i fattori ambientali hanno sugli organismi indicatori (Bayne et al., 1985). Come per gli indicatori abiotici, anche per i bioindicatori le informazioni che si ottengono sono legate al tipo di parametro scelto. I singoli organismi, presi come biondicatori, forniscono dettagli relativi al breve periodo, ma con scarsa rilevanza ecologica; scegliendo specie o comunità, le risposte avranno valenza temporale ed ecologica più congrua (Behan-Pelletier, 1999). Anche la scala influisce sulla biondicazione. La scala locale o aziendale fornisce dettagli esclusivamente legati ai fattori ecologici di quella particolare porzione di territorio, mentre ampliando la scala a livello di paesaggio o regione, il bagaglio informativo considererà anche il fattore biogeografico.

Come per gli indicatori, anche i bioindicatori sono strumenti di analisi dei vari comparti agro-ambientali, di seguito esposti.

4.1 Biondicatori per il comparto aria

I bioindicatori usati per stimare la qualità dell’aria sono generalmente organismi sensibili a sostanze volatili inquinanti. Le modificazioni fisiologiche e morfologiche subite da questi organismi sono proporzionali alla concentrazione delle sostanze tossiche percepite.

4.1.1 Biondicatori per l’ ozono e gli ossidi di azoto

Per accertare l’inquinamento da ozono troposferico è ormai consolidato l’uso della cultivar americana di *Nicotiana tabacum* L. *Bel-W3*. Questa cultivar ha un’elevata sensibilità nei

confronti dell'ozono tanto che, già a basse concentrazioni dell'inquinante, si osservano modificazioni macroscopiche a livello fogliare. Dall'ampiezza delle macchie tondeggianti si calcola l'indice di danno fogliare (IDF) che rappresenta la dose settimanale di ozono a cui la pianta è stata sottoposta (figura 4).



Figura 4 – Foglie di *Nicotiana Tabacum* esposte a diverse concentrazioni di ozono atmosferico.

Per valutare l'eventuale inquinamento da ossidi di azoto vengono invece presi come bioindicatori le piante di pino (*Pinus sylvestris*). A differenti livelli di inquinamento, gli aghi di queste piante subiscono variazioni dei livelli di glutamina e arginina. La valutazione di questi due amminoacidi porta a stimare il grado di inquinamento (Huhn et al., 1996).

4.1.2 Bioindicatori per l'ammonio atmosferico

La presenza di ammoniaca atmosferica (NH_3) induce variazioni metaboliche nelle piante che ne vengono a contatto. I bioindicatori usati sono sia piante C3 che C4 nelle quali è possibile identificare una modificazione del metabolismo dell'azoto, attraverso coloranti. La piranina e l'esculina, due coloranti sensibili al pH, misurano le variazioni di pH citoplasmatico e vacuolare in piante esposte per 30 minuti a concentrazioni di NH_3 (esempio: *Pelargonium zonale* e *Zea mays*). Dai risultati ottenuti mediante questa tecnica si risale alla concentrazione di ammoniaca atmosferica con cui le piante sono venute in contatto.

4.1.3 I licheni come bioindicatori del comparto aria

I licheni epifiti sono organismi che, date le loro caratteristiche morfo-fisiologiche, si prestano bene come bioindicatori della qualità dell'aria. Essi sono costituiti da un tallo sprovvisto di strutture di protezione verso l'ambiente circostante, il loro metabolismo dipende quindi da quanto

presente in atmosfera. Tutto ciò che è presente nell'ambiente viene assorbito ed accumulato dal



Figura 5 – Lichene epifita

lichene il quale non ha nessun meccanismo di disintossicazione dalle sostanze accumulate (figura 5). Date queste caratteristiche, i licheni vengono comunemente impiegati sia come bioindicatori che come bioaccumulatori per il monitoraggio ambientale. Mediante questi organismi si valuta l'indice di purezza atmosferica (IAP), intesa come somma delle frequenze delle specie licheniche in un reticolo di rilevamento di dimensioni fisse (10x15

cm). Data l'economicità del metodo è possibile effettuare un numero elevato di rilevamenti, rendendo possibile la realizzazione di mappe tematiche di inquinamento atmosferico.

4.1.4 Le api come biondicatori del comparto aria

Le api sono i principali organismi animali usati come bioindicatori per la qualità degli ambienti



Figura 6 – *Apis mellifera* (Ape comune) usata come bioindicatore

rurali ed agricoli. L'uso delle api, per la valutazione dei livelli di inquinamento ambientale, è dato dalle loro caratteristiche peculiari. La facilità di allevamento, l'elevata sensibilità alla presenza di sostanze tossiche, l'alta mobilità e l'ampio raggio di volo (che permettere di controllare ampie zone) fanno delle api un adeguato bioindicatore ambientale (Celli, 1994). Esse, perlustrando l'ambiente circostante, trattengono

passivamente eventuali sostanze inquinanti (Figura 6). La risposta alla presenza di inquinanti si manifesta con tassi più o meno marcati di mortalità, dovute a tossicità delle sostanze inquinanti (DL_{50}). Attraverso le api è anche possibile andare a determinare, mediante analisi di laboratorio, la natura degli inquinanti ed anche i periodi e le zone a rischio di inquinamento (Porrini, 1999).

4.2 Biondicatori per il comparto idrologico

Per il comparto idrologico, come biondicatori, vengono usati i macroinvertebrati. Fra i macroinvertebrati sono contemplati varie specie di insetti, crostacei, nematodi e platelminti, comunemente presenti nei corsi d'acqua e particolarmente sensibili alla presenza di inquinanti.

La quantificazione dell'inquinamento si basa sul calcolo dell'indice IBE (Extended Biotic Index) il quale fornisce indicazioni sulle modificazioni nella componente della comunità di macroinvertebrati indotte da presunti inquinanti. Concettualmente il calcolo dell'indice parte dal confronto tra la composizione attesa e la composizione della comunità realmente presente nel corso d'acqua in esame. Questo metodo permette di suddividere i corsi d'acqua in cinque classi di qualità, in funzione del tipo e del numero di taxa rinvenuti. Le cinque classi di qualità vengono usate per una rappresentazione grafica di mappe di qualità idrologica.

4.3 Biondicatori di diversità floristica

Come noto, la vegetazione costituisce una componente strutturale e funzionale molto importante per l'intero ecosistema. Gli ecologi considerano la presenza o l'assenza di determinate specie vegetali come bioindicatore direttamente correlato alle condizioni ambientali, quali fattori ecologici, biotici ed abiotici propri del sito in studio. Quantificare e identificare le specie vegetali presenti in un ecosistema fornisce una valutazione del grado di naturalità e qualità del territorio (Biondi, 1996), oltre che definire i modelli gestionali più idonei al mantenimento e alla conservazione della diversità vegetale. Ciò perché ogni specie vegetale ha il suo specifico range di tollerabilità alle diverse situazioni ambientali, entro il quale esiste il suo optimum ecologico e fisiologico. Ne consegue che per ogni ambiente si possono definire le specie caratteristiche, consentendo una definizione della qualità di un data area semplicemente osservandone la vegetazione. La metodologia di rilevazione floristica, messo a punto da J. Braun Blanquet negli anni '20, si basa sul riconoscimento delle singole specie che costituiscono un'associazione vegetale. Secondo lo stesso Braun Blanquet, l'associazione vegetale è "un raggruppamento vegetale più o meno stabile ed in equilibrio con l'ambiente, caratterizzato da una composizione floristica, in cui alcune specie vegetali, rilevano con la loro presenza, una ecologia particolare ed autonoma". La rilevazione floristica considera le singole specie vegetali come biondicatori. Il censimento delle stesse avviene all'interno di zone fisionomicamente omogenee e prevede la valutazione quantitativa dell'abbondanza di ogni specie (stima a vista) o conta precisa del numero di specie (metodo dei lanci). La stima a vista, cioè la percentuale di superficie occupata dalle singole specie, evidenzia l'importanza relativa dei singoli componenti della vegetazione. Questo è un metodo legato alla soggettività del rilevatore e risulta molto più grossolano rispetto al metodo puntuale di identificazione delle singole specie in specifici punti. Qualunque sia il metodo operativo, i censimenti vanno eseguiti su almeno tre zone e per un periodo di tempo minimo di

tre ripetizioni (anni, stagioni ect), dato che di anno in anno i risultati potrebbero ubire modificazioni o sovversioni. Naturalmente, per un quadro complessivo della vegetazione, bisogna disporre di un numero congruo di rilievi, più o meno elevato a seconda della variabilità di microambienti esistenti nel territorio oggetto di studio.

I dati che si ottengono dal censimeto costituiscono un elenco floristico. Ad ogni specie stimata, espressa in percentuale di frequenza, viene attribuito un coefficiente quantitativo (tabella 2) il quale facilita l'elaborazione statistica dei dati, permettendo una rapida valutazione della qualità e della naturalità del sito in esame (Braun Blanquet, 1932).

Punteggio assegnato alle classi	Percentuale di copertura al m2
+	Presenza < 1%
1	1-20%
2	21-40%
3	41-60%
4	61-80%
5	80-100%

Tabella 2 – Coefficienti quantitativi assegnati alle diverse % di copertura vegetale (Braun Blanquet, 1932).

Parametri interessanti che si possono ottenere dalla rilevazione floristica sono:

- la ricchezza o densità di specie, intesa come numero di specie rinvenute col rilevamento floristico;
- la diversità di specie, ossia l'abbondanza relativa di ogni specie, generalmente espressa come numero di individui/numero di specie totali;
- la dominanza, intesa come grado di prevalenza della specie più rappresentativa.

I suddetti parametri permettono di calcolare indici quali:

- Indice di ricchezza di specie (R);

$$R = n_i - 1 / \ln N$$

con N: numero totale di specie rilevate

n_i : numero totale di individui rilevati.

- Indice di Diversità di Shannon-Weaver (H), che calcola il numero di individui per specie facendo la sommatoria degli individui di ogni specie per il logaritmo della stessa (Shannon e Weaver, 1963).

$$H = - \sum (P_s * \log P_s)$$

con P_s : presenza di ogni specie sul totale (%)

- Indice di Dominanza di Simpson (C), che valuta quantitativamente le specie nei diversi siti ponendo maggiore rilievo alle specie comuni.

$$C = \sum (n_i / N)^2$$

con n_i : numero di individui per specie

N : numero totale di individui rilevati.

5 Biondicatori per il comparto suolo

Recenti studi sul sistema suolo hanno dimostrato l'importanza della componente biologica come "sensore" dei cambiamenti ambientali in tempi brevi. La sensibilità della componente biologica alla gestione e all'apporto di sostanze chimiche nei suoli agricoli, la propone come bioindicatore dello stress e del recupero ecologico del suolo. Se infatti "la valutazione della qualità del suolo è l'indicatore principale della gestione sostenibile del territorio" (Karlein et al., 1997), garantire la sostenibilità degli ecosistemi è basato sul mantenimento della qualità del suolo stesso (Schoenholtz et al., 2000).

La corretta gestione degli ecosistemi non può prescindere dalla conservazione della funzionalità della comunità edafica, per questo motivo, per definire l'impatto di fattori ecologici ed antropici sul suolo, vengono usati parametri microbici. Secondo Loreau (2001) per il corretto funzionamento di un ecosistema in equilibrio è necessario un numero minimo di specie, un maggior numero è invece necessario per il mantenimento dei processi stabili in un ecosistema in continuo mutamento. Il ruolo ecologico della comunità edafica è quindi quella di assicurare che,

in presenza di perturbazioni, vi siano comunque delle specie in grado di svolgere determinate funzioni (Bengtson, 1998) tollerando le perturbazioni.

Valutare la qualità del suolo attraverso bioindicatori significa quindi andare a valutare gli organismi che nella loro quantità (biomassa) e varietà (biodiversità) garantiscono il funzionamento dell'ecosistema. Essi forniscono informazioni sullo stato di salute dell'ecosistema, ma mette in evidenza anche situazioni di stress pregresse.

Anche per i bioindicatori del suolo ci sono criteri di scelta (Brookes, 1995) che si basano principalmente sulla facilità ed accuratezza della misurazione in tipologie e condizioni diverse di suolo. Altri criteri di scelta si rifanno alla sensibilità nei confronti dell'eventuale perturbazione, l'affidabilità per evitare falsi positivi e l'economicità dell'uso del bioindicatore scelto. Il principale bioindicatore del suolo è comunque la popolazione microbica.

5.1 Popolazione microbica come bioindicatore

Alcuni autori (Salinas-Garcia et al., 1997) ritengono che il migliore indicatore della qualità del suolo sia la variazione quali-quantitativa della sostanza organica. Questa, oltre a garantire il turnover dei nutrienti per la crescita colturale, contribuisce al mantenimento delle proprietà strutturali del suolo (Oades, 1984). Anche se la degradazione della sostanza organica include processi abiotici, quali la lisciviazione dei minerali ad opera dell'acqua piovana e l'ossidazione spontanea (Amato et al., 2004), sono gli organismi edafici, in particolare i microrganismi, a svolgere in modo preponderante questa funzione (Lavelle et al., 2001). La biomassa microbica infatti è il più importante e sensibile bioindicatore della qualità del suolo, le sue caratteristiche biologiche e biochimiche sono indicatori strettamente legati al tipo di gestione agronomica più che le caratteristiche fisico-chimiche del suolo. Nel suolo sono presenti un numero elevatissimo di specie microbiche, tra cui batteri, attinomiceti, funghi e microalghe (Paul and Clark, 1996). Gli organismi più abbondanti sono però i batteri, un grammo di suolo ne può contenere sino a qualche miliardo (Torsvik et al., 2002). Da recenti studi è emerso che essi sono principalmente specie gram-positivi, appartenenti al genere *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, tra gli attinomiceti *Corynebacterium* e *Micrococcus*. Nonostante la specifica diversità fenotipica e genotipica, l'abbondanza e le dinamiche delle diverse specie batteriche sono il riflesso delle pressioni selettive ambientali, oltre che alle caratteristiche del suolo (Griffith et al., 1999). Fattori quali disponibilità di fonti di carbonio ed energia, nutrienti, temperatura, umidità e pH influenzano la diversità e l'evoluzione microbica. L'analisi di queste proprietà microbiche,

attraverso l'uso di bioindicatori microbici, mettono in luce la struttura e l'adattamento della comunità microbica in una determinata situazione ambientale, ma anche le alterazioni della biodiversità in seguito a perturbazioni esogene.

I parametri che rappresentano, direttamente o indirettamente, la biomassa microbica edafica sono: Carbonio della biomassa microbica, Carbonio della biomassa/TOC, la respirazione del suolo e qCO_2 .

5.1.1 Carbonio della biomassa microbica

Tale indicatore rappresenta il carbonio contenuto all'interno delle strutture cellulari microbiche che funge da sensore dei cambiamenti delle pratiche di gestione agricola (Pinzari et al., 2000). Il metodo di determinazione è la fumigazione-estrazione (Vance et al., 1987), attraverso il quale si giunge a calcolare la quantità (in peso) di carbonio per unità di peso di suolo. L'unità di misura è mg C/kg suolo.

5.1.2 Carbonio della biomassa/TOC

Quest'indicatore discrimina la quantità di carbonio microbico rispetto al carbonio organico totale (TOC) fornendo una stima della densità microbica nel suolo. L'indicatore è adimensionale in quanto serve a definire l'equilibrio del carbonio microbio sul totale (Brookes, 1995). Il carbonio microbico viene calcolato col metodo della fumigazione-estrazione mentre per la TOC il metodo ufficiale di determinazione è quello di Springer e Klee (1954). I valori di questo indicatore dovrebbero oscillare tra 1 e 4 (Jenkinson e Ladd, 1981). Un suolo con valore inferiore a 1 si trova in una situazione di stress o di alterazione.

5.1.3 La respirazione del suolo

L'indicatore ottenuto misurando la respirazione del suolo è una stima quantitativa della CO_2 prodotta dal processo di ossidazione della sostanza organica, ad opera della popolazione microbica. Stimare la produzione di CO_2 equivale a valutare l'attività microbica totale, cioè la loro capacità di decomporre la sostanza organica del suolo (Sparling, 1997). Ogni scostamento di valori respirometrici sono da imputare allo stato fisiologico in cui si trovano i microrganismi. Fattori antropici e alterazioni ambientali possono inibire l'attività microbica, riducendo la decomposizione della sostanza organica e quindi la produzione di CO_2 . La respirazione del suolo può essere calcolata sia in campo che in laboratorio. La respirazione calcolata in campo è più

grossolana poichè prende in esame anche la respirazione della pedofauna e delle radici delle piante. Le situazioni ottimali per la stima di quest'indicatore sono le condizioni di laboratorio dove, venendo escluse le radici e la pedofauna, i microrganismi si trovano in condizioni non limitanti. Il metodo di valutazione della respirazione del suolo è quello proposto da Isermeyer (1952) che ha come unità di misura la velocità di produzione di CO_2 , espressa in $\text{mg CO}_2 / \text{g suolo} * \text{h}$.

5.1.4 Quoziente metabolico ($q\text{CO}_2$)

Partendo dal valore di respirazione del suolo, si possono calcolare interessanti indici del metabolismo microbico quali: il quoziente metabolico ($q\text{CO}_2$) e il coefficiente di mineralizzazione endogena.

Secondo Odum (1969) il tasso di respirazione in un ecosistema si riduce con l'evolversi verso stadi più maturi. La ridotta efficienza di ottimizzazione delle risorse disponibili ed una maggiore pressione selettiva favoriscono gli individui che sfruttano meglio le risorse. Questo concetto viene espresso nel $q\text{CO}_2$ che rappresenta la CO_2 evoluta dalla biomassa microbica nell'unità di tempo ed espresso come $(\text{mg CO}_2 / \text{mg C biomassa microbica} * \text{g suolo})/\text{h}$ (Anderson e Domsch, 1993). Un aumento di questo indicatore è indice di situazioni di stress o perturbazioni, mentre una sua diminuzione indica massimizzazione del rendimento delle risorse da parte dei microrganismi. Questo indicatore è quindi un "campanello d'allarme" della degradazione microbica dei suoli (Brookes, 1986).

6 Monitoraggio ambientale

Gli indicatori e i bioindicatori sino ad ora esposti sono strumenti usati per il monitoraggio ambientale. Per monitoraggio si intende la sistematica raccolta di dati quali-quantitativi effettuata con metodiche predefinite e con scopi di controllo dello stato ambientale. Sia che si usino indicatori fisici e chimici che indicatori biologici, il monitoraggio prevede le seguenti fasi:

- definizione dello specifico obiettivo
- scelta degli indicatori in base all'obiettivo prefissatosi
- scelta dell'adeguato metodo di monitoraggio e organizzazione dei punti di controllo (distribuzione spaziale degli indicatori)
- raccolta ed elaborazione dei dati o campioni

- valutazioni sul sistema monitorato.

Fra i vantaggi del monitoraggio ambientale c'è sicuramente l'economicità della metodica, il contenimento dei tempi d'esecuzione delle analisi oltre che l'elevata potenzialità divulgativa dei risultati. La multidisciplinarietà della valutazione di ecosistemi permette inoltre l'elaborazione di modelli esportabili ad altri ambienti. Ciò nonostante, esistono non poche differenze tra le misure strumentali di parametri ambientali e il monitoraggio, differenze riscontrabili principalmente a livello di approccio metodologico. Principale differenza è l'oggettività delle misure strumentali a fronte di un apporto soggettivo nell'interpretazione dei risultati del monitoraggio. Le risposte degli indicatori sono frutto di sinergie di vari fattori ambientali, la risposta dello strumento è selettiva e tarata per un solo parametro. Inoltre l'interpretazione dei risultati di un monitoraggio prevede un'adeguata preparazione dell'operatore che si avvicina a questa metodologia, competenze non richieste per la semplice lettura del dato strumentale. I due tipi di rilevamento, benché molto diversi, hanno gli stessi obiettivi e si integrano passando da un'analisi estensiva su vasto territorio, con il monitoraggio, ad una puntiforme del dato strumentale.

Negli ultimi anni sta prendendo piede un monitoraggio ambientale che si avvale di indicatori dinamici più che statici ed in particolare di indicatori di tipo biologico. Questo tipo di monitoraggio prende il nome di biomonitoraggio.

6.1 Biomonitoraggio ambientale

Attraverso il biomonitoraggio si valuta lo stato ambientale degli ecosistemi, stimando i disturbi che alternano l'attività (spesso la vitalità) dell'indicatore preso in esame, evidenziando le deviazioni da situazioni "normali" o di base. Il biomonitoraggio permette quindi di stimare gli effetti biologici dell'inquinamento ambientale. Tali effetti biologici si manifestano a diversi livelli:

- accumulo delle sostanze inquinanti negli organismi;
- modificazioni morfo-fisiologiche dell'indicatore biologico scelto;
- modificazione nella composizione delle comunità animali e vegetali.

Dalla valutazione di questi parametri si ottengono dati relativi alle concentrazioni di sostanze negli organismi, variazioni nell'assetto morfologico, fisiologico o genetico degli organismi

nonché misure di biodiversità. Gli effetti di fattori di disturbo ambientale possono provocare danni la cui entità varia a seconda dell'esposizione e della concentrazione dell'inquinante. Si parla di danno acuto, spesso irreversibile, nel caso di breve esposizione ma a concentrazione molto elevata dell'inquinante; danno cronico, per esposizioni prolungate a concentrazioni relativamente basse di inquinante.

6.1.1 Bioindicazione e Bioaccumulo

Il biomonitoraggio non valuta solo le concentrazioni e i tempi di esposizioni degli organismi biologici agli eventuali inquinanti, ma stima anche le reazioni che essi hanno a queste sostanze. A seconda della capacità che hanno gli organismi di accumulare le sostanze tossiche, si parla di bioindicazione o bioaccumulazione.

Le tecniche di bioindicazione, avvalendosi di bioindicatori, valutano gli effetti di variazioni ambientali su componenti sensibili degli ecosistemi. La bioindicazione può essere condotta su vari livelli d'integrazione biologica purché esista una relazione quantitativa tra la risposta del bioindicatore e le concentrazioni di esposizione ad un dato inquinante.

Le tecniche di bioaccumulazione misurano, usando organismi bioaccumulatori, le concentrazioni dell'inquinante assorbito dall'ambiente ed accumulato nell'organismo. Il bioaccumulatore può essere sia un organismo animale che vegetale purché sia tollerante agli inquinanti. Esso è in grado di sopravvivere alla presenza di un contaminante, assimilato dalle matrici ambientali (aria, acqua, suolo), accumulandolo proporzionalmente alle concentrazioni e ai tempi di esposizione e permettendone una quantificazione.

6.2 Biomonitoraggio del suolo

Il monitoraggio del suolo, attraverso indicatori fisici e chimici, non permette da solo di appurare gli effetti che le alterazioni ambientali hanno sulla qualità e la salute del suolo. Per questo motivo al monitoraggio classico viene accostato il biomonitoraggio che prevede lo studio dei batteri edafici come indicatori di qualità. I batteri del suolo sono studiati sia in pieno campo che in condizioni controllate di laboratorio. Lo studio in pieno campo, pur garantendo una migliore rappresentatività e aderenza dei risultati alla realtà, è usata sempre più di rado, data la complessità d'esecuzione delle analisi e la maggiore interferenza di fattori pedo-climatici. È l'allestimento delle prove in laboratorio la tecnica maggiormente usata. Questa prevede sia metodi di valutazione quantitativa che qualitativa.

6.2.1 Metodi di valutazione quantitativa dei batteri edafici

Questo tipo di approccio prevede di quantificare i batteri attraverso una metodica di conta microbica. La metodologia prevede un accurato prelievo di campioni di suolo che ne garantisca la rappresentatività. A tal proposito è conveniente effettuare il prelievo del terreno da punti distanziati regolarmente, evitando di campionare in situazioni ambientali particolari, tipo la rizosfera, molto ricca di microflora specifica (figura 7).



Figura 7 - Campionamento del suolo.

A questo punto la metodica prevede una serie di diluizioni seriali, successivamente piastrate su terreno agarizzato (figura 8). Dal conteggio del numero di colonie (CFU) si determina il numero di cellule per grammo di suolo.

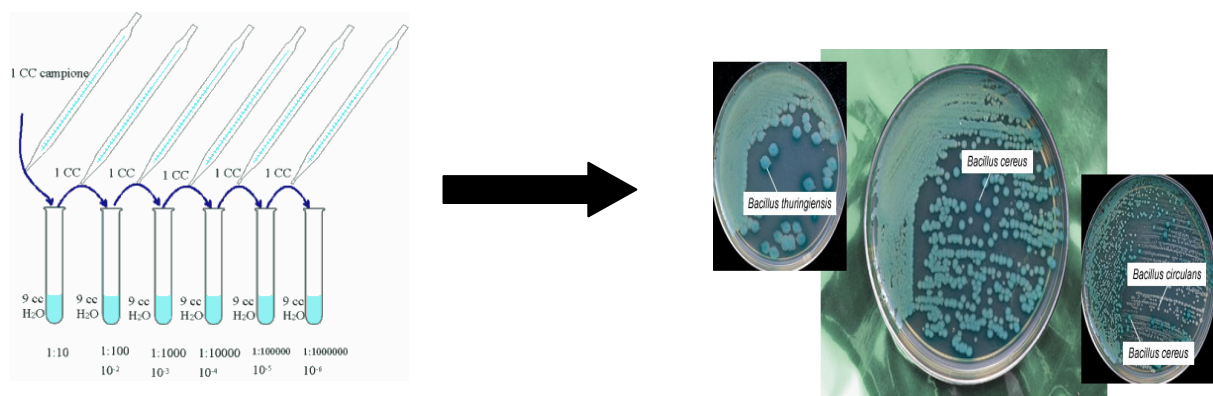


Figura 8 - Diluizioni seriali e coltura in vitro dei batteri edafici.

6.2.2 Metodi di valutazione qualitativa dei batteri edafici

L'approccio qualitativo di identificazione dei batteri del suolo prevede lo studio morfologico e fisiologico dei batteri. Questa metodica prevede l'isolamento dei singoli ceppi batterici e la successiva classificazione secondo opportune chiavi tassonomiche o specifici manuali quali Bergey's Manual (Holt et al., 1994). Mediante metodica qualitativa è possibile anche testare il comportamento delle colture isolate in presenza di un eventuale inquinante. La valutazione dell'effetto biocida avviene ponendo a contatto il ceppo batterico, per un certo tempo e ad una certa concentrazione, con la sostanza tossica. Per lo studio di inquinanti ambientali, che raramente hanno rapidi effetti mortali, si calcola la minima concentrazione inibente (MCI), per confronto tra la curva di crescita batterica in presenza e non della sostanza tossica. La ritardata crescita, rispetto al controllo, dà indicazioni dell'effetto della sostanza sul microrganismo.

6.3 Limiti e vantaggi del biomonitoraggio

Il biomonitoraggio, usando organismi viventi come indicatori, ha limiti e vantaggi in relazione agli obiettivi e alle scale territoriali scelte.

Fra i vantaggi si annoverano: la possibilità di ottenere un elevato numero di dati a bassi costi, individuare zone a rischio d'inquinamento e creazione di mappe di contaminazione locali o nazionali. È possibile anche evidenziare effetti sinergici di più inquinanti oltre che valutare parametri non misurabili mediante strumenti, come complessità biologica e dinamiche delle comunità edafiche. Fra i limiti c'è sicuramente la difficoltà di univocità tra dati biologici ottenuti e reali concentrazioni degli inquinanti. La mancata correlazione, in questo caso, può essere determinata dall'azione sinergica di più sostanze rinvenute con il biomonitoraggio. Altro limite è la minore oggettività delle stime ed anche gli eventuali fenomeni di adattamento dell'indicatore all'inquinamento. Attraverso l'attivazione di barriere selettive o espulsione rapida delle sostanze tossiche da parte del bioindicatore, i dati del biomonitoraggio potrebbero essere falsati; situazione non plausibile nel caso di misure strumentali.

7 Agricoltura e Ambiente

Da sempre l'ambiente è la principale risorsa dalla cui corretta gestione scaturisce una continuativa produzione agricola. Questa interdipendenza è andata via via perdendosi con lo sviluppo di sofisticate tecnologie produttive le quali hanno standardizzato il legame quantitativo

tra fattori e prodotti a discapito dell'ambiente. Se da un lato infatti la tecnologia ha massimizzato i profitti, dall'altro ha incrementato effetti ambientali negativi, come qualità degli habitat e perdita di biodiversità. Trisorio (2004) dimostra, mediante indicatori di sostenibilità ambientale, il degrado ambientale degli ultimi anni dovuto all'impatto che l'agricoltura può avere sull'ambiente (tabella 3).

Indicatori	Nord-ovest	Nord-est	Centro	Sud e Isole	Italia
Consumo di prodotti fitosanitari	☹	☹	☹	☹	☹
Emissioni di metano	☹	☺	☹	☹	☹
Emissioni di CO ₂	☹	☹	☹	☹	☹
Bilancio di azoto	☹	☹	☺	☹	☹
Lisciviazione di nitrati	☹	☹	☹	☹	☹
Consumo di fertilizzanti	☺	☺	☹	☹	☹

Tabella 3 – Indicatori di sostenibilità ambientale relativi all'agricoltura biologica (Trisorio, 2004).

Nella consapevolezza di questa forte intensificazione agricola e dei suoi effetti indesiderati, negli ultimi dieci anni ha preso piede l'idea di un'agricoltura più razionale, ecocompatibile e rispettosa dell'ambiente: l'agricoltura biologica.

7.1 Il metodo di produzione biologica tra vantaggi e svantaggi

Il metodo biologico si basa, per garantire un equilibrio tra agricoltura ed ambiente, su pratiche di gestione derivanti dalla sinergia tra tecnica agronomica e risorse naturali.

Questo tipo di gestione agronomica differisce dal metodo convenzionale sia nel mancato ricorso a sostanze chimiche di sintesi, come concimi e agrofarmaci, prevedendo la difesa preventiva delle colture o avvalendosi di prodotti naturali per la lotta fitoiatrica, sia attuando tecniche di coltivazione volte al sostegno della fertilità del suolo. Quest'ultimo aspetto viene sostenuto dalla scelta di specie e varietà adeguate all'ambiente oltre che riducendo l'intensificazione delle lavorazioni profonde.

Ad oggi la conduzione biologica è in rapida espansione ed è quindi lecito porsi delle domande circa i reali vantaggi apportati dal questo sistema rispetto a quello convenzionale. A tal proposito ci sono pareri contrastanti circa la sostenibilità economica, sociale ed ambientale del metodo. Pimentel (2005), sostiene il sistema biologico rispetto al convenzionale come metodo di

produzione che avvantaggia la fertilità del suolo, migliorandone anche la biodiversità. Dal punto di vista economico, invece, le minori rese risulterebbero proporzionali ai costi di produzione (Mader et al., 2002). La situazione reale non è però così esemplificata dalle incongruenze circa la reale convenienza economica del metodo biologico. Sacrificando la produttività, ci si dovrebbe trovare di fronte ad aziende con minore redditività, ma questa scelta imprenditoriale viene compensata dal cosiddetto “premium price” dei prodotti biologici che cerca di ottimizzare l’economia dell’azienda. Anche la reale tutela ambientale è motivo di discussioni nella comunità scientifica, poiché minori rese e maggiori costi potrebbero provocare maggiore sfruttamento delle risorse, cioè maggiore depauperamento del suolo, pur di ottenere continuità produttiva. Bruulsema (2003) sostiene che l’eccessiva diffusione dell’agricoltura biologica, senza un adeguato aumento delle rese unitarie e della produttività, possa portare a sottrazione di suolo da aree marginali ed ecologicamente fragili. Altre questioni sostenute dai fautori dell’agricoltura convenzionale sono gli eccessivi incrementi dei consumi energetici ed una maggiore richiesta di manodopera, come ulteriore aggravio per l’azienda. Inoltre, l’attenzione delle multinazionali alla produzione biologica sta portando l’agricoltura biologica più verso obiettivi economici che di sostenibilità ambientale, situazione poco coerente con i principi ispiratori del metodo (Altieri, 2008).

7.2 La legislazione sul metodo biologico

A livello legislativo, l’agricoltura biologica è disciplinata dal Regolamento Comunitario 2092/91 e le relative modifiche apportate con il Regolamento 1804/99, che regola l’etichettatura, la trasformazione, l’ispezione, il commercio e le importazioni dei prodotti derivanti dalla conduzione biologica. Lo scorso 28 giugno 2007, il Consiglio dei Ministri dell’Unione Europea ha rivisto il Regolamento 2092/91 adottando il Regolamento 834/2007. La nuova regolamentazione è entrata in vigore lo scorso 1 gennaio 2009 e contiene importanti novità. Oltre che i dettagli tecnici per la coltivazione e la trasformazione dei prodotti, sono incluse norme per l’identificazione dei prodotti biologici attraverso un logo comunitario, le direttive da seguire per i controlli internazionali e l’importazione dei prodotti biologici nell’Unione Europea. Il sostegno finanziario alle aziende biologiche viene invece sancito dal Regolamento 2078/92 e da un adeguamento della PAC, che per troppo tempo ha favorito metodi di produzione e colture intensive, tutelando i redditi degli operatori del settore agricolo a discapito della sostenibilità ambientale.

Anche la Regione Emilia Romagna, dal 2000 ad oggi ha erogato circa il 18% delle risorse pubbliche disponibili a favore dell'agricoltura biologica. Lo scenario per i prossimi anni è già delineato e il nuovo Piano di Sviluppo Rurale (Psr) 2007-2013 designa il metodo biologico come fattore strategico per il rispetto dell'ambiente.

7.3 L'agricoltura Biologica a livello nazionale

Da dati forniti dal SINAB (2006) si evince che, dal 1999 al 2002, il settore biologico ha registrato un tasso di crescita medio annuo del 26% (figura 10), per poi mantenersi sostanzialmente stabile.

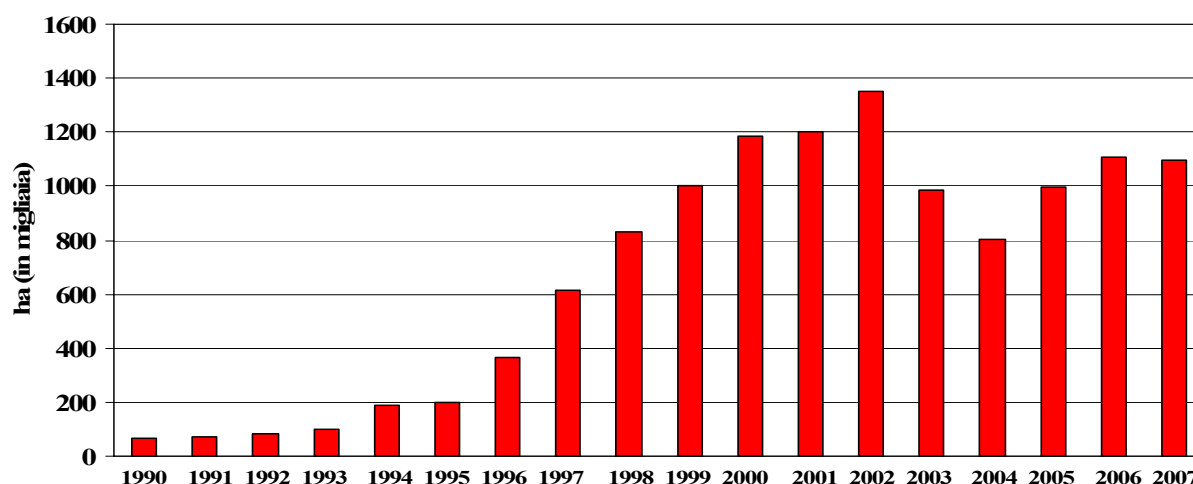


Figura 10 – Andamenti SAU e aziende biologiche in Italia dal 1993 al 2004 (SINAB 2006).

Fra i Paesi leader, a livello europeo, c'è l'Italia seguita da Regno Unito e Germania; a livello mondiale l'Italia è il quarto Paese per SAU adibita a conduzione biologica (figura 11).

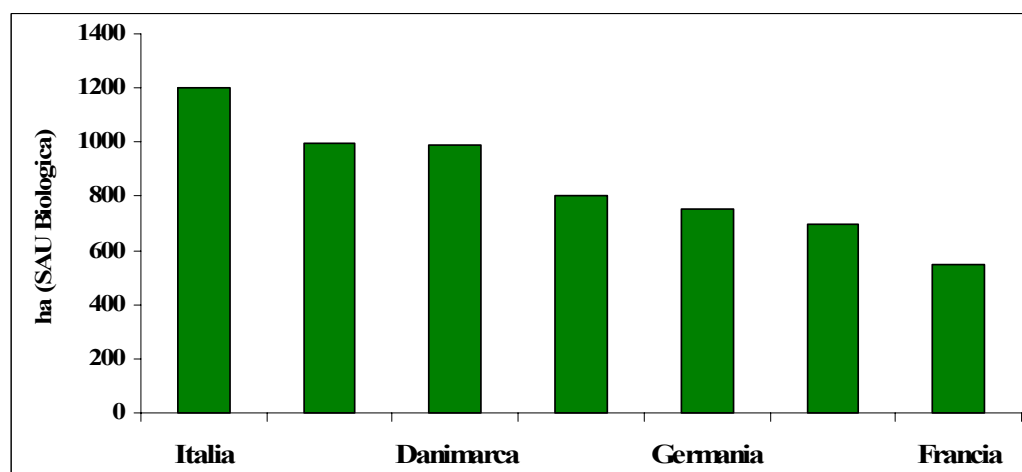


Figura 11 – Paesi Europei e rispettive SAU biologica.

La SAU italiana investita a biologico risulta difatti pari al 3,8% nel Nord, 6,1% per il Centro, 7,4% per il Sud e le isole con attività produttive concentrate nel sud e nelle isole mentre quelle di trasformazioni ed importazioni nel centro e nel nord del Paese (MIPAF, 2005).

Per quanto riguarda gli orientamenti produttivi, si ha un'elevata incidenza delle colture foraggere (25%), seguita da cereali (20%), olivo (9%), soprattutto in Calabria, Puglia e Toscana e frutticole (4%) in particolare in Sicilia (tabella 4).

Coltura	Regione
Grano tenero	Emilia Romagna, Veneto, Lombardia, Umbria
Grano duro	Toscana, Sicilia
Pesco	Emilia Romagna, Campania
Melo	Trentino, Veneto, Piemonte
Albicocco	Emilia Romagna, Campania
Pero	Veneto, Piemonte
Insalata	Veneto, Campania
Pomodoro industria	Emilia Romagna, Puglia
Pomodoro mensa	Lombardia, Campania
Agrumi	Sicilia, Lazio
Olio	Puglia, Toscana

Tabella 4 – Regioni in cui sono praticate le principali colture con metodo biologico.

7.4 L'agricoltura Biologica in Emilia Romagna

Da dati pubblicati nel Bollettino Ufficiale della Regione Emilia Romagna n.97 dell'11 giugno 2007, emerge un incremento degli operatori nel settore biologico, per un totale di 4089 unità.

Di questi la maggior parte sono aziende agricole, affiancate anche da una, seppur ristretta, fetta di imprese di trasformazione.

Anche a livello produttivo, nel 2007, si osserva un incremento della SAU coltivata a frumento duro e tenero. Risultano invariate le superfici a foraggere permanenti (prati e pascoli) mentre si osservano riduzioni d'investimento per le foraggere avvicendate, le colture frutticole, la vite e l'olivo (figura 13).

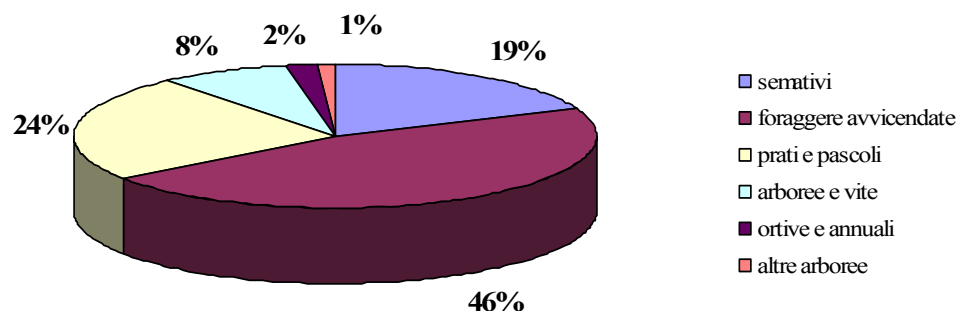


Figura 13 – Ripartizione percentuale delle superfici biologiche in Emilia Romagna (anno 2007).

7.5 I progetti di ricerca sull'agricoltura biologica

Il riflesso di questo elevato interesse verso il metodo biologico ha reso necessario la definizione di attività di ricerca che forniscano risposte specifiche in merito. Nell'ambito del Sesto Programma Quadro di ricerca (2002-2006) sono stati approvati vari progetti sull'agricoltura biologica, sia sulla tematica della qualità e sicurezza ambientale, sia sul tema dello sviluppo sostenibile. Tra questi ricordiamo il CORE organic (coordinamento della ricerca transnazionale europea in agricoltura biologica), cui ha partecipato anche il MIPAF per l'Italia. Questo progetto ha avuto come obiettivo creare un programma di ricerca unitario per l'agricoltura biologica. Sul piano prettamente nazionale, fra i progetti ricordiamo SABIO (sostenibilità dell'agricoltura biologica), finanziato dal MIPAF (D.M.92691 del 18/12/2003).

7.5.1 Progetto SABIO

Il progetto SABIO (acronimo di Sostenibilità dell'Agricoltura BIOlogica) ha avuto come obiettivo la valutazione del valore aggiunto dell'agricoltura biologica, stimandone le componenti economiche sociali e ambientali. Scopo del progetto di ricerca è stato l'identificazione del contesto sociale, ambientale, politico e di mercato in cui si evolve il sistema biologico e le relative valutazioni di carattere oltre che economico, anche d'impatto sulla salute umana e sull'ambiente. Il progetto ha coinvolto 5 unità operative, l'INEA, l'AGER coldiretti, Università degli studi di Roma "Tor Vergata", Università di Bologna e di Padova. Le Unità Operative INEA, "Tor Vergata" e AGER hanno approfondito la sostenibilità economica e sociale dell'agricoltura biologica, mentre l'unità operativa di Bologna si è occupata degli aspetti

agronomici. Tutti i dati ottenuti dalle 4 unità sono stati poi convertiti in valori monetari e in benefici netti ambientali e di salute umana, dall'unità operativa di Padova.

L'unità operativa di Bologna, in particolare, ha sviluppato una metodologia che ha permesso di valutare gli effetti, o esternalità, sull'ambiente determinati dall'uso di tecniche agronomiche di tipo biologico e convenzionale. L'obiettivo è stato raggiunto attraverso la selezione di aziende sulle quali viene applicata un'indagine diretta dello scenario, mediante l'uso di prescelti indicatori.

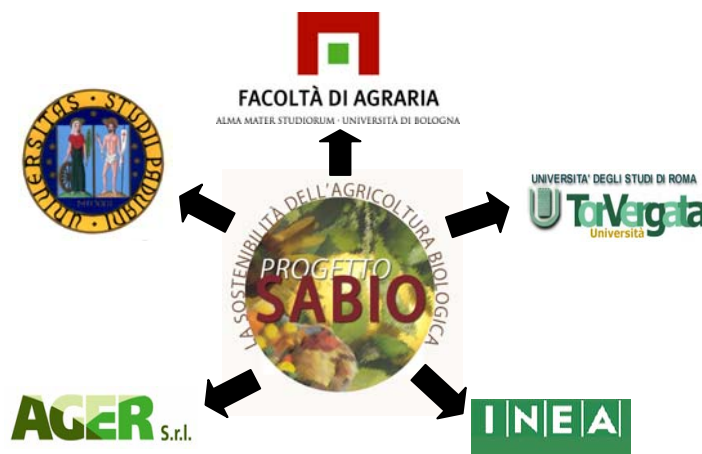


Figura 14 – Le cinque unità coinvolte nel progetto SABIO

8 Impatto dell'Agricoltura Biologica sull'agroecosistema

Dall'interesse sviluppatosi verso i sistemi di produzione biologica è sorta anche la necessità di avviare dei confronti con i sistemi produttivi tradizionali, affermati per lunghi anni. Se da un lato i consumatori si pongono il problema della qualità, desiderando commisurare prezzi a benefici di varia natura, i conduttori sono continuamente alla ricerca di un conforto scientifico sui reali effetti che la gestione biologica ha sull'ambiente. Da ciò nasce l'esigenza di valutare quelle che prendono il nome di esternalità dell'agricoltura.

8.1 Le esternalità dell'agricoltura biologica

Le esternalità sono un concetto macroeconomico le cui definizioni seguono linee di pensiero degli esperti in materia. Integrando la definizione di autori come Baumol e Oates (1994) con quella di Mishan (1971), l'esternalità è un prodotto incidentale, non deliberatamente cercato,

derivante dalle decisioni di consumo o di produzione prese dai singoli e che influenzano il benessere degli altri agenti. Nel sistema produttivo agricolo, si definiscono esternalità gli effetti del miglioramento o degrado delle risorse ambientali. Sono considerate esternalità i fenomeni, sia negativi che positivi, di impatto ambientale dei cui costi o benefici ne è interessata la collettività. Spesso il conduttore agrario prende decisioni considerando i personali benefici o costi senza considerare il “costo sociale”, inteso come sfruttamento e deterioramento delle risorse ambientali (bene sociale). È proprio l’intesificazione agraria ad incentivare le esternalità negative a discapito delle positive (Merlo, 1999) e solo il metodo biologico può invertire questo trend favorendo la tutela delle risorse dell’agroecosistema.

L’identificazione delle esternalità prodotte dall’agricoltura biologica, piuttosto che da quella convenzionale, è un tema tutt’oggi controverso. Numerosi sono gli studi che pongono in rilievo gli effetti diretti dell’agricoltura biologica sull’ambiente, effetti intesi come salvaguardia della fertilità del suolo, della sua biodiversità e miglioramento della struttura, intesa come migliore gestione della sostanza organica. Alla conduzione convenzionale vengono invece associati effetti negativi come la degradazione fisica, chimica e biologica del suolo, la cattiva gestione della sostanza organica e l’eccessivo accumulo di prodotti di sintesi. L’individuazione e la quantificazione delle esternalità è un elemento irrinunciabile per il decisore pubblico, anche se misurare gli effetti esterni del metodo biologico ha delle difficoltà intrinseche sia alla variabilità ambientale e territoriale, sia alle stesse modalità con cui viene effettuato questo tipo di agricoltura.

Difficoltà che aumentano andando a misurare le esternalità in scale via via più ampie (parcellare, aziendale, nazionale).

8.2 Effetti della gestione biologica sulla biodiversità

La biodiversità è fra le risorse naturali quella che può trarre effetti positivi dalle pratiche biologiche rispetto a quelle convenzionali. La biodiversità, intesa come diversità e variabilità degli organismi viventi e i sistemi in cui essi si trovano, è caratterizzata da 3 aspetti o livelli di diversità (OECD, 2001):

- biodiversità intraspecifica (o genetica): è la variabilità a livello genetico fra individui della stessa specie;
- biodiversità interspecifica (o di specie): è la variabilità fra specie all’interno dello stesso ambiente;

- biodiversità ecosistemica: è la variabilità di foreste, praterie, deserti ecc.

La biodiversità dell'ecosistema è costituita sia da diversità inter ed intraspecifica che da diversità ecosistemica. È proprio questa risorsa naturale che ha subito i principali effetti negativi derivanti dall'antropizzazione in agricoltura. L'intensificazione e l'omologazione delle aree agricole rappresenta una minaccia per la biodiversità. La tutela del numero di specie animali e vegetali e il ripristino di habitat naturali, come garante dell'omeostasi dell'ecosistema agricolo, è pertanto un principio fondamentale della "filosofia" del metodo biologico. Ne deriva un effetto positivo sulla conservazione della flora e della fauna più che nella conduzione convenzionale. Da studi comparati tra biologico e convenzionale sono emersi dati confortanti sulla maggiore abbondanza e vitalità dei microrganismi nella gestione biologica (Gunapala, 1998), dati da imputare alla corretta gestione agronomica. Anche il divieto d'uso di pesticidi, l'aumento del contenuto di sostanza organica, pratiche come sovescio e maggese sono dei fattori favorevoli allo sviluppo e alla diversità della componente biotica del suolo.

8.3 Effetti della gestione biologica sulla gestione del suolo

Nel corso degli anni, l'intensificazione agricola ha comportato il degrado delle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche del suolo (Trisorio, 2004). La tutela e il mantenimento delle quali sono fra gli obiettivi del metodo biologico. La gestione biologica, infatti, adduce esternalità positive a livello di sostanza organica, struttura, attività biologica ed erosione.

Per quanto riguarda la sostanza organica, è noto che essa è il principale fattore responsabile della fertilità del suolo. La massiccia intensificazione agricola ne ha determinato un eccessivo depauperamento. L'agricoltura e le tecniche di conduzione biologica tendono a contrastare tale fenomeno, ricorrendo a metodi alternativi quali: impiego di concimi naturali, sovesci, uso di colture miglioratrici della fertilità (trifoglio e leguminose).

Pareri discordanti si hanno per l'effetto positivo dell'agricoltura biologica sulla struttura del suolo. Se da un lato la distribuzione delle particelle di suolo trae beneficio dal miglior e maggior apporto di sostanza organica auspicato con la gestione biologica, dall'altro anche la minima meccanizzazione provoca fenomeni di costipazione, con effetti negativi sulla struttura.

Anche per gli effetti sull'attività biologica ci sono pareri non univoci. L'eccessivo uso di fertilizzanti di sintesi, apportati con il metodo convenzionale, inibiscono i microrganismi, i quali però potrebbero essere avvantaggiati da una maggiore produzione di residui colturali. A questa

ipotesi si affiancano studi che dimostrano come in sistemi biologici ci sia un'elevata densità e biodiversità microbica, associata anche ad un incremento del 50% della respirazione di suoli, dati che incoraggiano il metodo organico al convenzionale (Mader et al., 2002).

Circa l'erosione, recenti studi hanno dimostrato che il metodo biologico sembri preservare tale rischio. Elementi favorevoli sono: il ricorso ad infrastrutture ecologiche, per la tutela dell'erosione eolica, ma anche la ridotta meccanizzazione a favore del mantenimento della copertura vegetale (Dabbert, 2003).

8.4 Confronto tra metodo convenzionale e metodo biologico

Pur consapevoli del minor impatto ambientale dell'agricoltura biologica rispetto a quella convenzionale, notevoli sono le difficoltà dell'analisi comparata tra le due conduzioni tanto più per un'univoca quantificazione degli effetti ambientali del metodo organico. Il confronto tra i due metodi è tutt'oggi aperto ed affidato ad indagini empiriche non di immediata fattibilità. Gli obiettivi del confronto mirano spesso ad una visione non prevalente dell'uno o dell'altro metodo, quanto al contributo oggettivo della performance biologica sulla sostenibilità ambientale. Le principali difficoltà riscontrabili sono: la dimensione territoriale (aziendale, regionale, nazionale) entro cui effettuare le valutazioni, la scala cioè se valutare le singole parcelle più che l'intera azienda, il singolo processo produttivo più che l'intero sistema ed infine l'unità di confronto inteso come prodotto o superficie. Pur accordandosi su un protocollo metodologico comune, rimangono delle difficoltà circa le valutazioni dei risultati empirici poiché l'impatto ambientale dell'agricoltura biologica rispetto alla convenzionale dipende dalle specifiche condizioni ambientali in cui sono svolte le attività agricole. Ciò comporta dunque un ridimensionamento della validità dei risultati alle singole aree se non ai singoli processi esaminati, dimostrando che non è possibile definire in modo univoco nessuno dei due metodi. Risulta difficile individuare un valore soglia al di sotto e al di sopra del quale si possono considerare le esternalità, positive e negative, prodotte dell'attività agricola.

Obiettivi della ricerca

La crescente attenzione rivolta all'impatto ambientale delle pratiche agricole e l'interesse verso gli effetti dell'agricoltura sull'ambiente, ha aperto un dibattito internazionale sulla misurabilità dell'impatto ambientale e della sostenibilità dell'agricoltura. L'obiettivo del presente lavoro è pertanto la valutazione, mediante indicatori di monitoraggio ambientale, della sostenibilità dell'agricoltura biologica rispetto a quella convenzionale. Le necessità di ponderare il contributo degli indicatori per definire al meglio uno status o una funzione ambientale è stato da sempre il maggior problema degli esperti di settore. Negli ultimi anni, il ricorso all'utilizzo di indicatori per la descrizione dell'ambiente si è limitato all'analisi delle strutture e, in misura minore, alle funzioni proprie delle componenti ambientali, sia singolarmente che nel complesso dell'ecosistema.

Il presente studio rientrando all'interno del progetto SABIO (acronimo di Sostenibilità dell'Agricoltura BIOlogica), progetto di ricerca finanziato dal MiPAAF, si inserisce nel dibattito in corso per contribuire a misurare la sostenibilità dell'agricoltura biologica, studiandone le componenti socio-economiche, ambientali e salutistiche con l'obiettivo ultimo di stimarne il valore aggiunto complessivo. A tal proposito sono stati valutati gli effetti del sistema produttivo biologico da un punto di vista ambientale, sia in senso assoluto che in riferimento ai sistemi produttivi tradizionali, valutando le esternalità dell'agricoltura biologica, ascrivibili alla riduzione o mitigazione degli effetti negativi generati dall'agricoltura convenzionale.

Il confronto fra i due metodi agronomici è stato affidato ad un'indagine empirica mediante indicatori i quali forniscono indicazioni sul reale contributo alla sostenibilità dell'agricoltura biologica intesa come la capacità di operare tecniche agronomiche che non alterino le risorse naturali su cui l'agricoltura stessa si basa. La complessità dell'analisi comparativa è intrinseca nei due metodi di coltivazione data l'elevata eterogeneità di situazioni aziendali, produttive e territoriali. L'obiettivo è dunque quello di sostenere un'agricoltura che ripristini le condizioni minime necessarie al rispetto dei fattori ambientali ed ecologici. È proprio attraverso il ricorso agli indicatori che si tende a supportare in modo scientifico le valutazioni ambientali e le previsioni evolutive di un sistema e di fornire le informazioni necessarie agli organi decisionali. La misura della sostenibilità ambientali non è però un'operazione facile poiché prevedere di

mettere in relazione la pressione delle attività agricole con la capacità dell'ambiente di assorbire tali variazioni. Essa, infatti, non si presenta direttamente rilevabile come se si trattasse di un fenomeno naturale descrivibile o indicizzabile o come diretta e unica conseguenza della lettura degli indicatori ambientali, anche se comunque la misurazione della sostenibilità implica necessariamente il ricorso a indicatori e bilanci ambientali. Inoltre non tutti gli indicatori ambientali possono essere assunti come strumenti di misura diretta della sostenibilità, molti possono essere interpretati come indicatori degli andamenti di un sistema che tende alla sostenibilità.

Da un punto di vista metodologico la ricerca ha previsto una fase preliminare di scelta di indicatori e bioindicatori rispondenti all'obiettivo prefissato.

Successivamente, la metodologia adottata si è basata su quattro tecniche di osservazione:

- campionamenti del suolo, comparto maggiormente interessato alle diverse pratiche agronomiche;
- analisi di laboratorio degli stessi campionamenti di suolo;
- sopralluoghi territoriali e rilievi vegetazionali.

I dati ottenuti hanno consentito di esprimere le potenzialità della ricerca il cui obiettivo è stato quello di valutare la sostenibilità dell'agricoltura biologica rispetto a quella convenzionale.

Materiali e Metodi

1. La scala usata per la selezione degli indicatori

Per la selezione di indicatori idonei alla comparazione tra produzione biologica e convenzionale, orientato ad evidenziare le differenze dovute alla scelta di un metodo piuttosto che un altro, è stata tralasciata la scala regionale e globale. Le valutazioni sono state svolte su scala aziendale e i suoi comparti. A tal proposito va sottolineato che l'azienda rientra in un contesto globale che è il sito o l'ambiente, ma la stessa è anche costituita da livelli gerarchici con livelli di complessità di ordine inferiore. È per questo motivo che da un punto di vista metodologico, oltre ad effettuare valutazioni a scala aziendale, si è preferito scindere l'unità aziendale in entità più semplici da valutare. Fra queste entità ricordiamo il processo composto, che racchiude il singolo processo elementare. Per processo composto è stato inteso la rotazione agraria, mentre al processo elementare è stato associato il singolo processo produttivo (es. colture annuali). Gerarchicamente inferiore al processo elementare c'è l'appezzamento, inteso come superficie continua su cui sono praticate le stesse attività produttive. Questo tipo di approccio, oltre che permettere una più dettagliata analisi della complessità dell'intero sistema, evita fenomeni che potrebbero falsare i risultati. Analizzare solo i processi a scala aziendale avrebbe potuto portare fenomeni di compensazione: la minore abbondanza di specie erbacee spontanee potrebbe essere stata mascherata da zone meno propense allo sviluppo vegetazionale. A livelli di ogni scala sono stati poi selezionati indicatori idonei a discriminare la differente conduzione agraria.

2. Gli indicatori selezionati

Gli indicatori selezionati sono stati suddivisi sia per scala che per tecnica di valutazione (tabella 5). Le scale prese in considerazione vanno dal contesto ambientale o sito (H), all'azienda (F) sino al singolo processo colturale (P). Per ambiente si intende una superficie interna ad un appezzamento, un bordo o una fascia vegetata; per azienda, l'intero corpo aziendale contiguo e per singolo processo colturale, la singola attività produttiva effettuata sugli appezzamenti. Le tecniche di rilevamento includono invece le analisi di laboratorio (L), i sopralluoghi e i rilievi vegetazionali (S) ed i rilievi effettuati cartografici (C).

Sigla	Indicatore	H	P	F
ICso	Contenuto di sostanza organica		L	
Irm	Respirazione microbica		L	
ILs	Lunghezza siepi			C
ILi	Lunghezza rete scolante superficiale funzionante			C
ISh	Superfici naturali			C
ICH	Numero ambienti naturali			C
IDh	Diversità di specie (erbacee-arbustive-arboree)	S		
IRv	Ricchezza di specie (erbacee-arbustive-arboree)	S		
IDve	Diversità di specie erbacee		S	
IRve	Ricchezza di specie erbacee		S	
ICs	Salinità del suolo		L	
ICn	Azoto totale dei suoli		L	
ICp	Fosforo assimilabile		L	

Tabella 5 – Indicatori valutati, suddivisi per comparto e per tecnica di rilevamento.

3. Le aziende selezionate

Gli indicatori scelti sono stati valutati in 4 aziende selezionate nel comprensorio provinciale. Tali aziende, a coppie di due, sono state scelte per le simili caratteristiche pedo-climatiche ma diverse per conduzione. Un'azienda biologica e l'altra convenzionale, a coppia, si collocavano nello scenari collinare del comune di Ozzano ed in quello di pianura del comune di Bentivoglio (Figura 15).

Entrambe le aziende selezionate sono caratterizzate da orientamenti produttivi di tipo cerealicolo e sono esigue le colture arboree soprattutto nella gestione convenzionale. Le rotazioni effettuate comprendono medicaio, nel biologico di collina, e leguminose in pianura. La presenza di un agriturismo, associato all'allevamento di pochi capi solo a fini ricreativi, contraddistingue l'azienda biologica di collina.

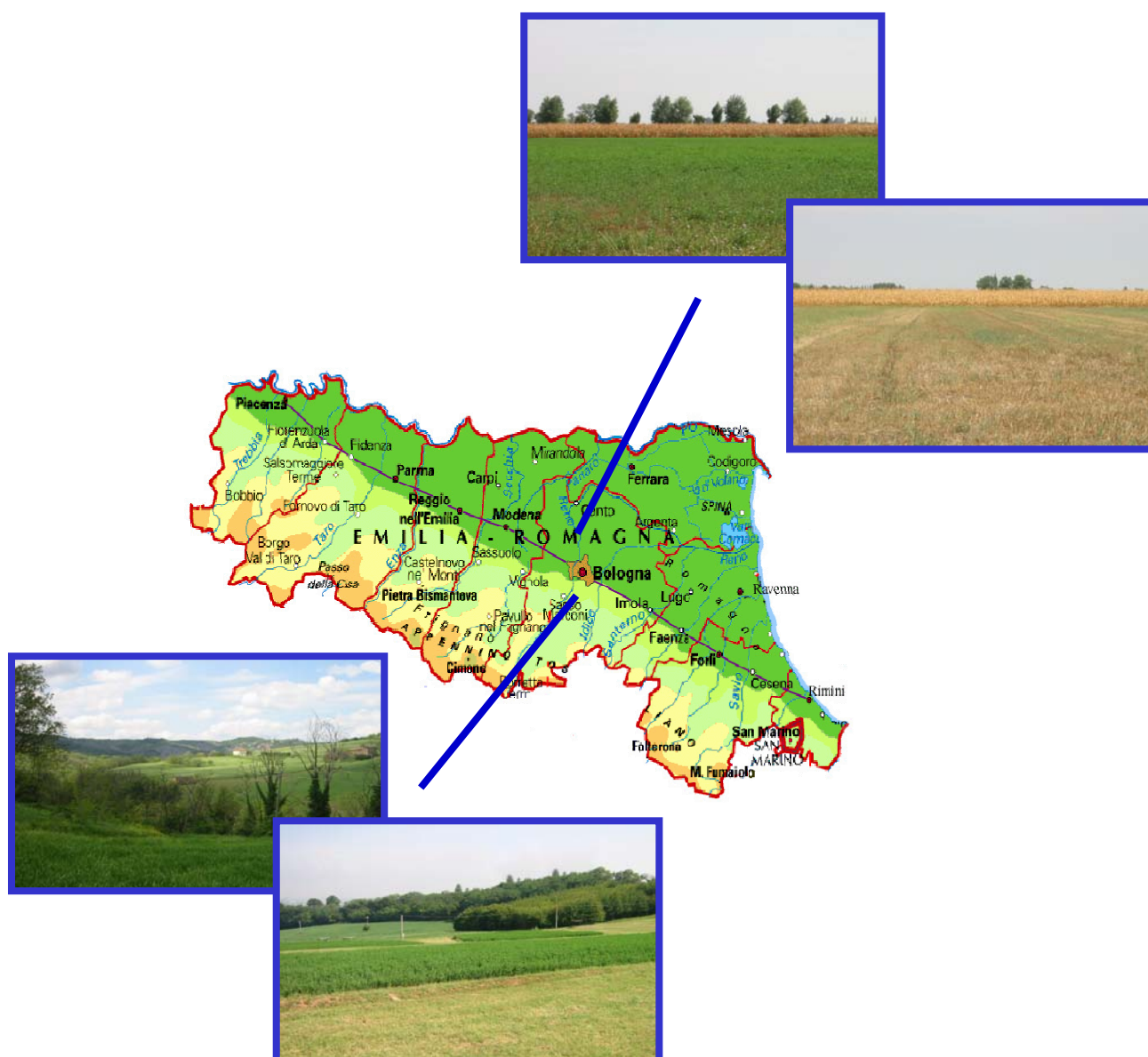


Figura 15 – Ubicazione delle aziende selezionate. Le foto danno un'idea del tipo paesaggio. In alto scenario di pianura, in basso quello di collina.

3.1 Caratteristiche delle aziende di collina

Le aziende di collina si collocano nel comune di Ozzano a circa 10 Km Sud Est di Bologna. Entrambe, a ridosso del bacino Centonara, sono considerate come rappresentative della realtà della media e bassa collina emiliano-romagnola, ove coesistono ambiti naturali, accanto alle colture intensive classiche, ma anche al set-aside ed all'agricoltura biologica. L'azienda convenzionale, da adesso denominata Conventional Hill (CH), è l'area collinare all'interno dell'azienda dell'Università di Bologna con una SAU di 73 ha. L'azienda biologica, da adesso Organic Hill (OH), è Dulcamara con una SAU di 17,8 ha (figura 16). Quest'ultima è sita in

località Settefonti, all'interno del Parco Regionale dei Gessi e dei Calanchi dell'Abbadessa istituito con la Legge Regionale 11/1988. Sia l'azienda convenzionale che biologica sono caratterizzate da suolo limoso-argilloso.

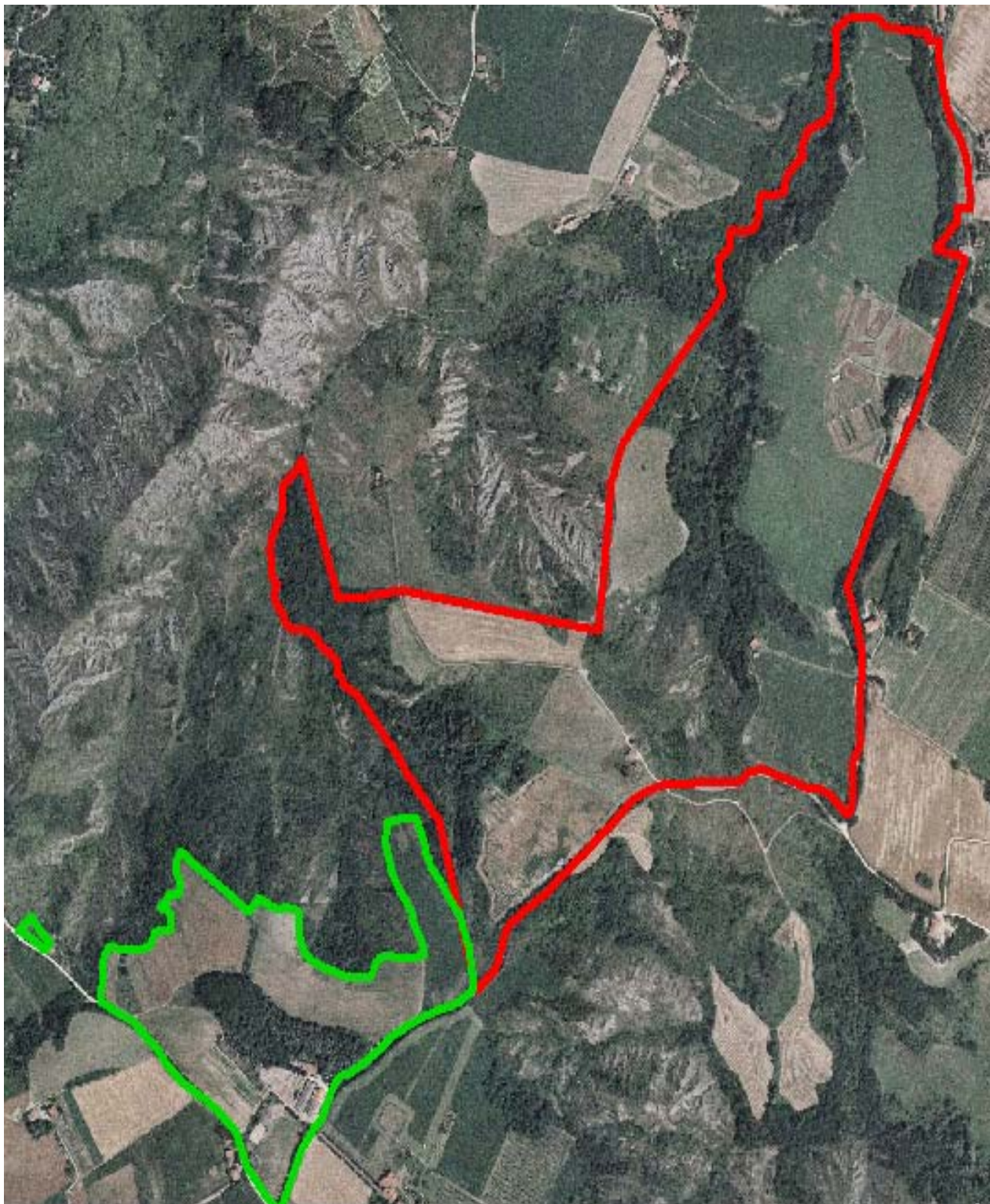


Figura 16 – Identificazione delle aziende di collina. In rosso, l'azienda convenzionale (CH); in verde, l'azienda biologica (OH).

3.2 Caratteristiche delle aziende di pianura

Le aziende di pianura sono situate nel comune di Bentivoglio a 17 km Nord Ovest da Bologna, 19 m s.l.m. Anche queste aziende campione, come quelle in collina, sono rappresentative della realtà di pianura, dove coesistono colture da pieno campo, vegetazione tipica delle zone umide e varie infrastrutture ecologiche. L'azienda convenzionale scelta, da adesso denominata Conventional Plain (CP), è l'azienda Bondi con una SAU di 40,1 ha. L'azienda biologica, da adesso denominata Organic Plain (OP), è l'azienda Ferretti con una SAU di 36,2 ha (figura 17). Entrambe le aziende sono caratterizzate da suoli limosi-argillosi.

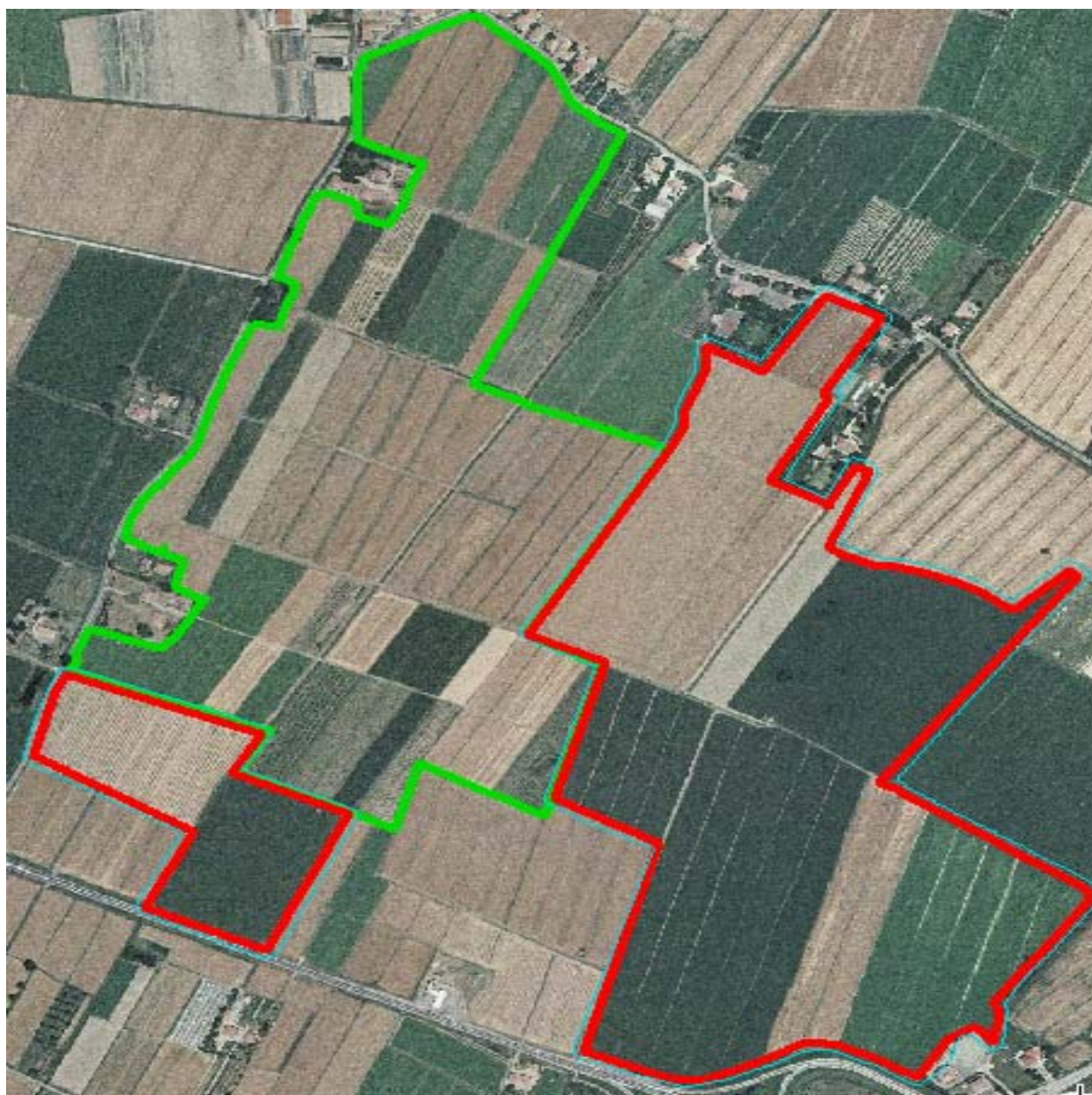


Figura 17 - Identificazione delle aziende di pianura. In rosso, l'azienda convenzionale (CP); in verde, l'azienda biologica (OP).

4. Protocollo di rilievo

La metodologia usata ha previsto un protocollo di rilievo distinto in:

- Campionamenti del suolo e analisi di laboratorio
- Sopralluoghi territoriali e rilievi floristici
- Analisi cartografiche

I campionamenti del suolo e relative analisi sono state effettuate al fine di valutare indicatori di natura fisico-chimico e biologici. Questi sono stati eseguiti su scala parcellare all'interno delle quattro aziende.

Sopralluoghi territoriali e i rilievi floristici sono stati effettuati su scala aziendale, in precisi periodi dell'anno. Questi hanno permesso le valutazioni quali-quantitative di indicatori floristici e sono stati effettuati su scala globale ossia all'interno dell'intera area aziendale.

Attraverso i sopralluoghi è stato anche possibile effettuare analisi cartografiche per la determinazione della rete scolante superficiale, di superfici lasciate ad habitat naturali, pendenze e comparazione tra mappe e sopralluogo. Anche l'analisi cartografica è stata eseguita a scala azienda.

4.1 Campionamenti

I campionamenti del suolo sono stati effettuati, per tutte e quattro le aziende, negli anni 2007 e 2008 e in due periodi: invernale ed estivo (figura 18). Essi sono stati effettuati in un unico giorno per entrambi gli scenari e sempre dopo un mese dall'ultima concimazione. I dati climatici delle giornate di campionamento sono riportate in tabella 6.

La scelta dell'appezzamento aziendale su cui effettuare il campionamento ha avuto come criterio la conduzione dello stesso tipo di coltura e stessa rotazione. Nel 2007 sono stati effettuati prelievi su appezzamenti coltivati a frumento, per entrambe le aziende dello scenario di collina. L'anno successivo sugli stessi appezzamenti era coltivato il mais. Lo stesso criterio di scelta è stato adottato per lo scenario di pianura.

Per ogni appezzamento sono stati prelevati, in punti ritenuti rappresentativi, cinque campioni alla profondità di 0-20 cm, in punti distanziati tra loro 5 m. Successivamente il campione di suolo su cui effettuare le determinazioni analitiche, è stato lasciato ad asciugare all'aria, sono

stati frantumati manualmente i macroaggregati e successivamente è stata operata una setacciatura mediante vaglio a maglie di 2 mm.



Figura 18 – Fase di campionamento del suolo.

Sito di campionamento	Temperatura giornaliera (°C)		UR (%)	Data di campionamento
	Minima	Massima		
AUB Ozzano (collina)	8.9	16.1	92	19 marzo 2007 (campionamento invernale)
	21.7	33.5	70	19 giugno 2007 (campionamento estivo)
	7.6	8,2	83	27 marzo 2008 (campionamento invernale)
	19,2	20,6	78,1	12 giugno 2008 (campionamento estivo)
Bentivoglio (pianura)	9.9	18.1	86	19 marzo 2007 (campionamento invernale)
	20.1	33.5	69	19 giugno 2007 (campionamento estivo)
	5.7	10.2	88	27 marzo 2008 (campionamento invernale)
	16.1	24.9	93	12 giugno 2008 (campionamento estivo)

Tabella 6 – Dati meteo relativi ai giorni di campionamento del suolo. I dati per lo scenario di collina sono stati ottenuti dalla stazione agrometeorologica DISTA, per lo scenario di pianura i dati sono stati ottenuti dal servizio meteorologico Arpa Emilia Romagna.

4.2 Analisi di laboratorio

Sui campionamenti prelevati negli appezzamenti scelti all'interno delle aziende campione sono state effettuate analisi di laboratorio per l'elaborazione di indicatori di qualità del suolo.

Gli indicatori valutati sono riportati in tabella 7.

Sigla	Indicatore
ICso	Contenuto di sostanza organica
Irm	Respirazione microbica
ICs	Salinità del suolo
ICn	Azoto totale dei suoli
ICp	Fosforo assimilabile

Tabella 7- Indicatori valutati attraverso indagini di laboratorio

4.2.1 *Contenuto di sostanza organica*

Come è ben noto, la sostanza organica dei suoli è costituita da residui vegetali, animali a diverso stadio di trasformazione e sostanze umiche di diversa composizione. La sostanza organica è un indicatore molto importante della qualità dei suoli essendo imputata nella conservazione strutturale del suolo ed esplicando una serie di azioni chimico-fisiche positive. La determinazione del contenuto di sostanza organica, per ogni campione, è stato stimato a partire dalla determinazione del carbonio organico, secondo metodo ufficiale Springer-Klee (1954) riportato nei Metodi Ufficiali di Analisi Chimica del Suolo del MiRAFF (1994). I valori del carbonio organico si sono ottenuti mediante ossidazione con bicromato di potassio in presenza di acido solforico concentrato e successiva titolazione del bicromato di potassio residuo, con soluzione di ferro ammonio solfato. La sostanza organica, espressa in %, è stata ricavata moltiplicando il dato del carbonio organico relativo per il fattore 1,724. Per ottenere il valore dell'indicatore di contenuto di sostanza organica ICso, è stata effettuata una media ponderata in funzione della superficie agricola dell' appezzamento in esame.

$$\text{ICso} = \text{OM(i)} \quad [\%]$$

4.2.2 *Respirazione microbica*

Per valutare l'indicatore relativo alla respirazione microbica sono stati effettuate analisi respirometriche sui campioni di suolo. La respirazione di ciascun campione di suolo è stata misurata secondo la metodica descritta da Isermeyer (1952). I campioni di suolo sono stati incubati, in recipienti ermetici, in condizioni di aerobiosi, temperatura di 25°C ed umidità pari al 30% della capacità di campo. Nel contenitore, oltre al campione di suolo, nella quantità di 20g, sono stati allocati due beker, uno contenente H₂O e l'altro NaOH 0,05 M. L' H₂O con la funzione di contenere la disidratazione del suolo e NaOH di fissare la CO₂ prodotta dal sistema (figura 19).

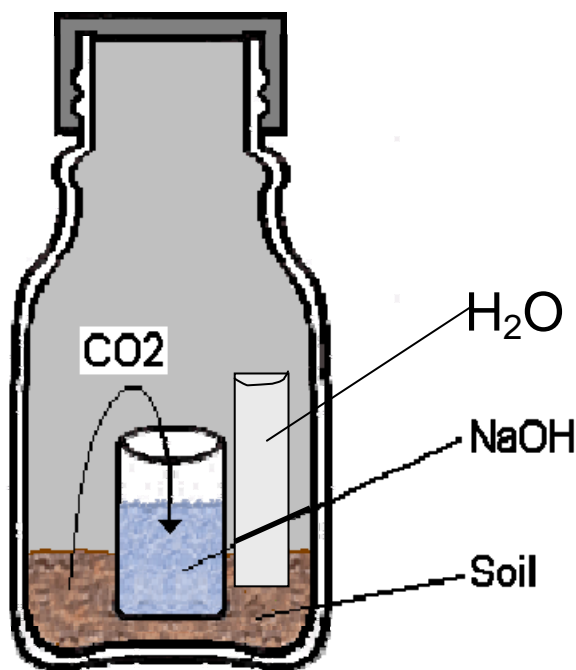


Figura 19 – Sistema di incubazione del campione di suolo

In un altro vaso, utilizzato come controllo, sono stati posti il beker contenente acqua e l'altro NaOH, senza campione di suolo. Ad intervalli di 3 giorni, il sistema è stato aperto per la sostituzione del beker contenente NaOH e la successiva titolazione per quantificare la produzione di CO₂ prodotta. Alla soluzione di NaOH sono stati aggiunti 6 ml di BaCl₂ 0,5 M e alcune gocce dell'indicatore di pH fenoltaleina. Sotto continua agitazione è stato titolato NaOH con HCl 0,1 M sino al viraggio dell'indicatore, dal fucsia al bianco. L'evoluzione della CO₂ è stata misurata dopo 3, 6, 9 gioni.

La velocità di respirazione, ossia l'indicatore di respirazione microbica Irm, è stata calcolata in accordo alla seguente relazione:

$$Vr = [(Vo - V) * 6000 / (Ps * t)] \quad [mgC/g \text{ tereno secco/giorni}]$$

con Vo: volume in ml di HCl usato per titolare il controllo

V: volume in ml di HCl usato per titolate il campione di suolo

6000: fattore di conversione

Ps: peso secco del terreno

t: tempo di incubazione dei campioni, espresso in giorni.

4.2.3 Salinità del suolo

La salinità del suolo è stata determinata in modo indiretto attraverso la valutazione della conducibilità elettrica. Tenendo presente che gli ioni in soluzione acquosa conducono corrente

elettrica, misurare la CE di un suolo equivale a misurarne la concentrazione salina o salinità. L'indicatore di salinità I_{cs} , espresso in $\mu S/cm^2$, è stato valutato come media ponderata dei valori di salinità degli appezzamenti aziendali sulla superficie agricola aziendale (SAU).

$$I_{Cs} = C(i) \quad [\mu S/cm^2 (20^\circ C)]$$

4.2.4 Azoto totale dei suoli

L'azoto totale del suolo è stato determinato secondo il metodo ufficiale Kjeldahl (D.M. del 13/09/1999). Il metodo prevede la trasformazione dell'azoto organico presente nel campione in azoto ammoniacale mediante attacco con acido solforico concentrato. Il dosaggio dell'azoto ammoniacale, previa distillazione in ambiente alcalino ed assorbimento in soluzione a titolo noto di acido solforico, è avvenuto mediante elettrodo iono-selettivo per ammoniaca. L'indicatore azoto totale IC_n , è stato valutato come media ponderata dei valori degli appezzamenti aziendali sulla superficie agricola aziendale (SAU).

$$IC_n = N_{tot}(i) \quad [\%]$$

4.2.5 Fosforo assimilabile

Per fosforo assimilabile si intende la quota dell'elemento presente nella soluzione del suolo. La sua determinazione è avvenuta attraverso il metodo Olsen. Il metodo si basa sulla capacità di una soluzione di bicarbonato sodico (pH 8,5) di estrarre dal terreno i fosfati, che in ambiente acido si trasformano in acido fosforico. Quest'ultimo in presenza di molibdicidi di ammonio forma dei complessi fosfo-molibditici che ridotti con acido ascorbico danno luogo a dei complessi di colore

blu (blu molibdeno fosforato). L'intensità del colore blu, determinato con spettrofotometro a lunghezza d'onda di 720 nm, è proporzionale alla quantità di fosforo presente. L'indicatore fosforo assimilabile IC_p , è stato valutato come media ponderata dei valori di fosforo degli appezzamenti aziendali sulla superficie agricola aziendale (SAU).

$$IC_p = Pass(i) \quad [ppm]$$

4.3 Rilievi floristici

Attraverso i rilievi floristici, effettuati mediante sopralluoghi aziendali, è stato possibile individuare e valutare indicatori di biodiversità vegetazionali. Gli indicatori valutati sono riportati in tabella 8.

Sigla	Indicatore
IDh	Diversità di specie (erbacee-arbustive-arboree)
IRv	Ricchezza di specie (erbacee-arbustive-arboree)
IDve	Diversità di specie erbacee
IRve	Ricchezza di specie erbacee

Tabella 8 - Indicatori valutati attraverso i rilievi floristici

4.3.1 Diversità di specie (erbacee-arbustive-arboree)

L'indicatore in questione valuta la biodiversità delle specie spontanee aziendali. Attraverso i sopralluoghi è stato possibile il tipo di specie spontanee presenti in azienda. Il riconoscimento floristico è stato effettuato tramite campionamento su una superficie di 300 m² e la percentuale di presenza è stata attribuita secondo il metodo di Braun Blanquet.

La trasformazione numerica delle percentuali di presenza è stata determinata col metodo Van der Maaler (1972). In tabella 11 sono riportati i codici numeri e le classi di Braun Blaquet e Van der Maaler.

% di copertura	BB	VDM
Specie con copertura pari all'80 -100%	5	9
Specie con copertura pari all'60 - 80%	4	8
Specie con copertura pari all'40 - 60%	3	7
Specie con copertura pari all'20 - 40%	2	5
Specie con copertura pari all'1- 20%	1	3
Copertura trascurabile (inferiore all'1 %)	(+)	2
Specie molto rare, rappresentate solo da pochi individui isolatissimi, con copertura trascurabile	®	1

Tabella 11 – classi di Braun Blanquet (BB) e Van der Maaler (VDM).

L'indicatore finale di diversità di specie IDh, è stato calcolato successivamente con l'indice di diversità di Shannon (Shannon e Weaver, 1963).

$$IDv = - \sum (Ps * \log Ps) \quad [ha^{-1}]$$

con Ps : presenza di ogni specie sul totale (%) scelto come valore massimo tra tutte le formazioni aziendali osservate nella singola azienda. La sommatoria estesa a tutte le specie rilevate.

4.3.2 Ricchezza di specie (erbacee-arbustive-arboree)

L'indicatore in questione valuta la biodiversità delle specie spontanee aziendali come somma di tutte le specie rilevate nei due scenari. A livello numerico l'indicatore è stato valutato tramite il censimento delle specie su una superficie di 300 m² secondo il metodo Braun Blanquet, precedentemente esposto.

L'indicatore IRv è stato valutato secondo l'equazione:

$$\text{IRv} = nv \quad [n]$$

4.3.3 Diversità di specie erbacee

L'indicatore in questione valuta la biodiversità delle specie erbacee infestanti, sia all'interno di parcelle scelte all'interno della superficie aziendale che di infrastrutture ecologiche. Il metodo utilizzato è quello proposto da Vazzana e Raso (1997) che prevede una serie di lanci, nella fattispecie 8, con un transetto quadrato avente lati da 20 cm. I rilievi sono stati eseguiti, in entrambi gli scenari nel periodo di aprile 2007. Dai rilievi si sono ottenuti i numeri di specie ed il numero totale di individui per singola specie. Il calcolo dell'indicatore di diversità di specie erbacee IDve, è stato calcolato, partendo dal numero di individui per specie, con l'indice di diversità di Shannon.

$$\text{IDve} = - \sum (Ps * \log Ps) \quad [-]$$

con Ps : numero di individui di una singola specie sul totale (%)
La sommatoria è stata estesa a n tipi di specie rilevate.

4.3.4 Ricchezza di specie erbacee

Anche questo indicatore valuta la biodiversità di specie infestanti sia a livello di singolo appezzamento aziendale che a livello di infrastrutture. Numericamente l'indicatore è stato valutato a partire dai rilievi ottenuti per l'indicatore IDve, attraverso il computo del numero totale delle specie rilevate. L'equazione usata per l'indicatore di ricchezza di specie IRve è la seguente:

$$\text{IRve} = nve \quad [\text{ha}^{-1}]$$

4.4 Rilievi cartografici

Attraverso i rilievi cartografici è stato possibile valutare indicatori relativi ad elementi aziendali e grandezze ad essi associati. La localizzazione di questi elementi è avvenuta mediante sopralluoghi aziendali confermati successivamente da analisi di georeferenziazione mediante operazioni GIS (Geographical Information System). Il programma GIS usato è ARCview 3.2.

4.4.1 Definizione del concetto di bordo e semi-bordo

Prima di passare in rassegna gli indicatori valutati, sarebbe opportuno definire quali e come sono stati manipolati alcuni elementi fisici determinati attraverso elaborazioni GIS. Occorre fare una puntualizzazione sul concetto di bordo e sulla valenza attribuitale in questa ricerca.

In un ecosistema, il bordo o edge, è inteso come una zona di confine tra due ambienti ecologicamente differenti. Sono considerati bordi:

- fasce vegetate;
- fasce ripariali, caratterizzate da diversificazione del regime idrologico con alternanza di bagnamenti e asciugamenti;
- fasce tampone o filter strip, con la precisa funzione di tamponare eventuali fenomeni inquinanti;
- bordi di campo e fasce inerbite, con presenza di vegetazione differente da quella di campo;
- siepi, costituite da specie ad andamento cespuglioso con altezza massima di 2-3 metri o altre infrastrutture ecologiche.

Attraverso i rilievi cartografici, l'attenzione è stata rivolta non alla tipologia di vegetazione presente nel bordo quanto alla sua larghezza, come fattore ecologico caratterizzante lo scenario agro-ambientale. La larghezza utilizzata è quella di Boller (2004) che considera utili per le valutazioni di biodiversità:

- della lunghezza di 3 metri: fasce inerbite ai bordi campi;
- della lunghezza dagli 1 ai 3 metri: siepi spontanee o bordi bassi; 10 metri se associati ad una fascia inerbita;
- della lunghezza di 5-6 metri: bordi alti.

Per meglio facilitare l'analisi e l'elaborazione attraverso analisi cartografiche, il bordo è stato ulteriormente definito come composto da una coppia di semi-bordi. Dal un punto di vista

della operatività di un programma GIS, il semi-bordo corrisponde ad un buffer, ossia ad una linea di contorno di un oggetto geografico, ricavato sulla sola parte interna del confine di una superficie (tabella 11).


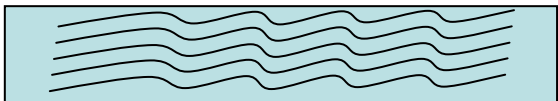

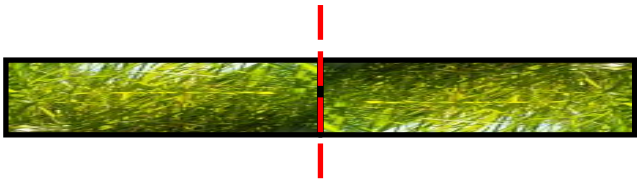
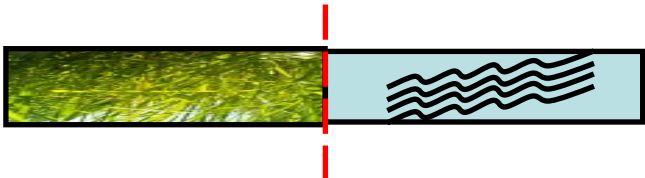
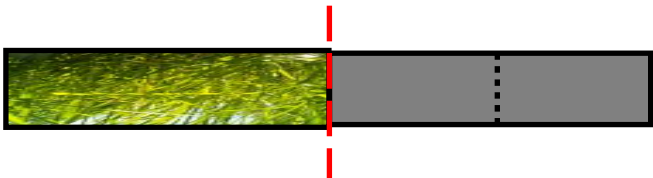
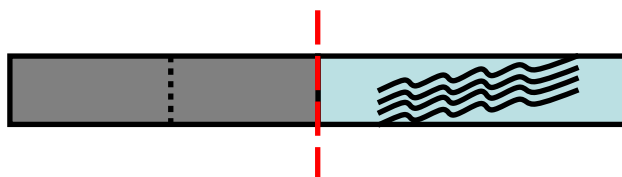
TIPO di SEMI-BORDO	SIGLA
	F :Field (Campo coltivato o no)
	H : HydroBranch (Idrologia Naturale e artificiale)
	S : Street (Sistema Viario)

Tabella 11- Rappresentazione grafica degli elementi identificati come semi-bordo

Per ogni superficie si originano una serie di semibordi; due semi-bordi complementari costituiscono un bordo (tabella 12).

COMBINAZIONI di SEMI-BORDO	SIGLA
	F - F
	F - H
	F - S



H - S

Tabella 12 – Combinazioni di semi-bordi

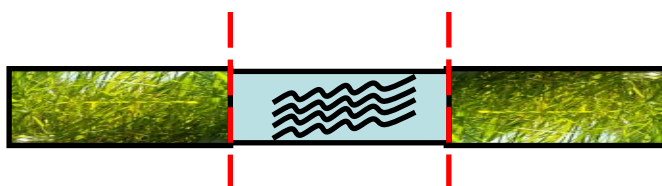
Dai sopralluoghi effettuati nelle aziende campioni sono stati riscontrate diverse tipologie di semi-bordo, dalla cui combinazioni si creano infrastrutture aziendali in grado di ospitare formazioni vegetali spontanee. Queste infrastrutture naturali prendono il nome di habitat (tabella 13).

SCENARI O HABITAT OSSERVATI

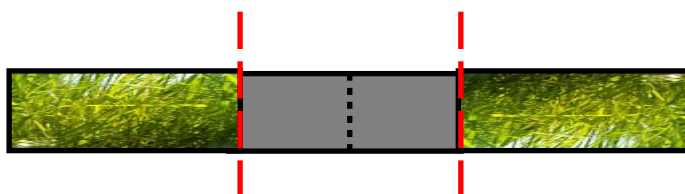
SIGLA



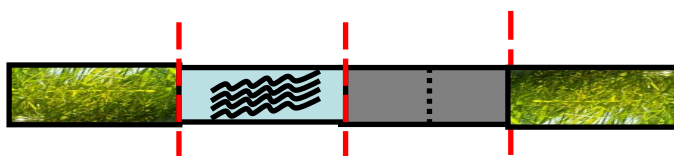
F - F



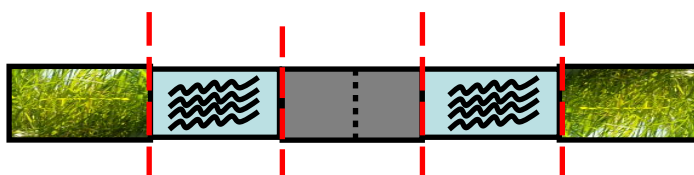
F - H - F



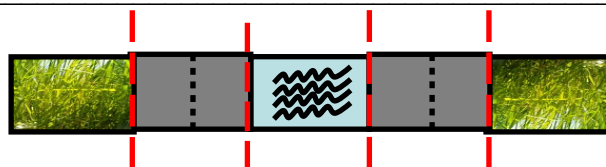
F - S - F



F - H - S - F



F - H - S - H - F



F – S – H – S – F

Tabella 13 – Tipologia di habitat

Per ogni tipo di semi-bordo sono state associate precise larghezze. In particolare al semibordo di campo (F) è stato dato valore di 1 m mentre per il semi-bordo strada (S) è stato dato valore di 0,5 m. Per il semi-bordo relativo all'idrologia naturale e artificiale (H) si è reso necessario una ulteriore suddivisione, essendo l'idrologia naturale e artificiale molto diversificata. A tal proposito si sono considerate scoline permanenti con valore 0,2 m, fossi di guardia con valore 0,5 m, capofossi con valore 1 m e canali con valori di 2 m. Questi valori numerici sono stati associati ai semibordi osservati nei sopralluoghi e che hanno permesso la valutazione degli indicatori riportati in tabella 14.

Sigla	Indicatore
ISh	Superfici naturali
ICh	Numero ambienti naturali
ILs	Lunghezza siepi
ILi	Lunghezza rete scolante superficiale funzionante

Tabella 14 - Indicatori valutati attraverso i rilievi cartografici.

4.4.2 Superfici naturali

L'indicatore denominato superfici naturali ISh valuta il peso degli elementi naturali e seminaturali presenti nelle aziende campione. Fra gli ambienti considerati naturali o seminaturali rientrano: pascoli, fasce vegetate, affioramenti rocciosi, siepi, macchie di bosco, fasce ripariali, alberature e aree umide quali maceri. L'indicatore in questione è stato valutato come la sommatoria delle superfici a vegetazione naturale sulla SAT aziendale, secondo l'equazione:

$$ISh = \sum_{i=1,N} Sh(i)/SAT \quad [\%]$$

con Sh : superficie a vegetazione naturale o seminaturale
SAT : superficie totale aziendale.

4.4.3 Numero degli ambienti naturali

L'indicatore denominato numero di ambienti naturali ICh, a partire dai rilievi effettuati dell'indicatore ISh, valuta il numero di ambienti naturali per unità di superficie secondo l'equazione:

$$\mathbf{ICh = N/SAT} \quad \quad \quad \mathbf{[ha^{-1}]}$$

4.4.4 Lunghezza delle siepi

Questo indicatore valuta la lunghezza di siepi, identificabili come bordi costituiti da vegetazione ad andamento cespuglioso, avente larghezza compresa tra 1 e 5 metri. Il valore dell'indicatore è stato ottenuto identificando a vista le zone all'interno dell'azienda, in cui questi erano presenti. Attraverso successiva elaborazione con programma GIS è stato possibile valutare la lunghezza delle stesse sul totale della SAU aziendale. Per le siepi è stato considerato un valore numerico compreso tra 1 e 3 m (Boller, 2004). L'equazione per la stima numerica è la seguente:

$$\mathbf{ILs = \sum Ls(i)/SAU} \quad \quad \quad \mathbf{[m/ha]}$$

4.4.5 Lunghezza rete scolante superficiale funzionante

Attraverso questo indicatore è stata valutata la lunghezza della rete scolante superficiale. Le tipologie di rete scolante incontrate e valutate erano principalmente: scoline, fossi di guardia, capofossi sino ai canali. L'indicatore è stato ottenuto come la sommatoria della lunghezza degli elementi della rete scolante sul totale della SAU. I valori numerici attribuiti ai semibordi della rete scolante sono: scoline 0,2 m, fossi di guardia 0,5 m, capofossi 1 m e canali 2 m. L'equazione per la stima numerica dell'indicatore Ili è la seguente:

$$\mathbf{ILI = \sum Li(i)/SAU} \quad \quad \quad \mathbf{[m/ha]}$$

Risultati e Discussione

Le valutazioni dei risultati sugli indicatori presi in esame sono state effettuate tenendo distinti sia i due tipi di conduzione, biologica e convenzionale, che gli scenari analizzati, pianura e collina. Ad ogni indicatore è stato dato un giudizio di idoneità, comprovante la sensibilità del singolo indicatore tanto alla gestione quanto al contesto agroambientale. È stato considerato idoneo un indicatore che ha risposto univocamente per i due scenari, oppure che ha mostrato coincidenza di trend per uno o l'altro scenario; indicatore non idoneo nel caso di risposta non corrispondente in entrambi gli scenari o nel caso di trend opposti fra i due contesti ambientali.

1. Campionamenti e Analisi di laboratorio

1.1 Contenuto di sostanza organica

Per l'indicatore del contenuto di sostanza organica IC_{so}, sono stati effettuati campionamenti, primaverili ed estivi, su suolo prelevato sia in superficie (5 cm) che in profondità (20 cm). I risultati sono riportati in tabella 14 e 15.

Azienda	Terreno	SO inverno (%)	Media	Differenza
OH	Sup.	1,95	1,41	1,08
	Prof.	0,87		
CH	Sup.	1,28	1,11	0,34
	Prof.	0,94		
OP	Sup.	2,34	2,06	0,56
	Prof.	1,78		
CP	Sup.	2,71	1,99	1,45
	Prof.	1,26		

Tabella 14 – Contenuto di sostanza organica per i campionamenti invernali.

Azienda	Terreno	SO Estivo (%)	Media	Differenza
OH	Sup.	1,48	1,12	0,73
	Prof.	0,75		
CH	Sup.	0,69	0,70	0,02
	Prof.	0,71		
OP	Sup.	2,06	2,07	0,01
	Prof.	2,07		
CP	Sup.	1,98	2,03	0,10
	Prof.	2,08		

Tabella 15 – Contenuto di sostanza organica per i campionamenti estivi.

Dai valori è possibile notare nette differenze tra i campioni di suolo prelevati in collina rispetto a quelli di pianura. In particolare, i campioni provenienti dalle aziende di collina sono caratterizzate da un maggior contenuto di sostanza organica in superficie più che in profondità. Lo stesso andamento si osserva sia per i campioni invernali che in quelli estivi. Per i campioni provenienti dalle aziende in pianura non si osservano variazioni nel contenuto di sostanza organica. Essa risulta costante sia lungo i due profili analizzati che nei due periodi di campionamento. Sulla base di questi risultati è stato valutato l'indicatore, denominato contenuto di sostanza organica ICso, come media dei dati stagionali. I valori dell'indicatore sono riportati in figura 20.

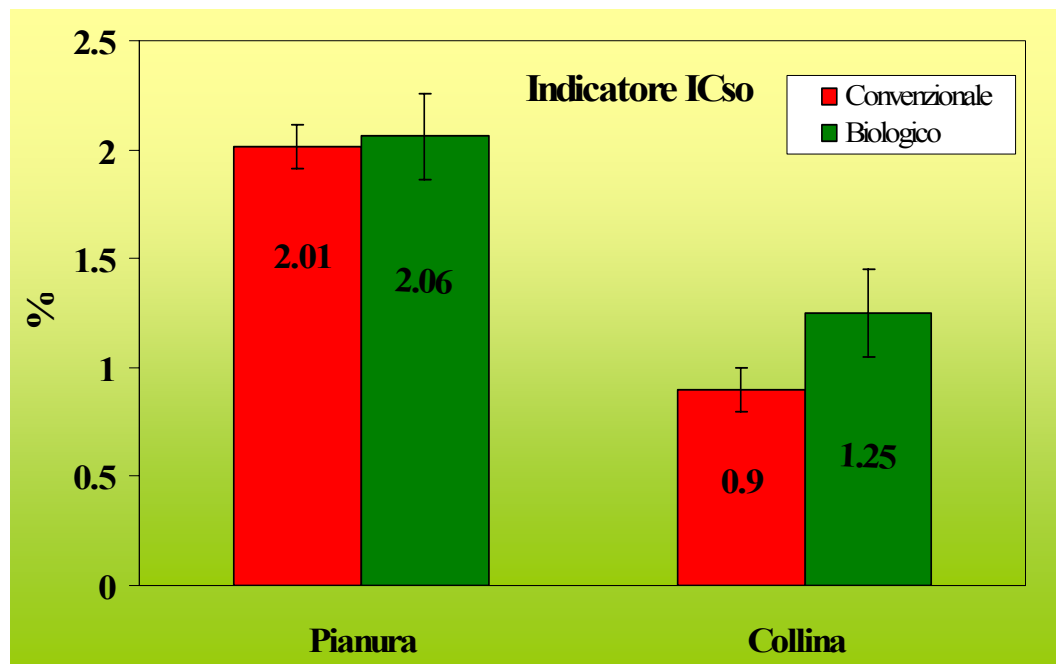


Figura 20 – Andamenti del contenuto di sostanza organica nei due scenari analizzati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore ICso non è idoneo a discriminare le differenze fra le due conduzioni, biologico contro convenzionale. Questo indicatore evidenzia un incremento significativo di sostanza organica solo nelle aziende biologiche di collina, trend non confermato nello scenario di pianura.

1.2 Respirazione microbica

I risultati relativi alle analisi respirometriche del suolo sono riferite ai due periodi di campionamento: estivo ed invernale. I dati ottenuti (tabella 16 e 17) rappresentano la velocità di respirazione ottenuta secondo la formula:

$$V_r = [(V_o - V) * 6000 / (P_s * t)]$$

La velocità di respirazione è stata calcolata a 3, 6, 9 e 12 giorni di incubazione, mediando i valori di due anni di analisi. I dati sono stati rappresentati graficamente da una retta (figura 21) che evidenzia come la respirazione segua una andamento lineare.

Dati medi Inverno 2007-2008 (i valori sono espressi in ppm C-CO ₂)				
Azienda	3g	6g	9g	12g
CH	94.0	259.7	399.7	597.7
OH	114.3	323.0	475.0	656.3
CP	72.7	174.0	285.3	481.0
OP	51.3	172.3	260.7	443.3

Tabella 16 – Dati medi di respirazione del suolo, riferiti ai campionamenti invernali.

Dati medi Estate 2007-2008 (i valori sono espressi in ppm C-CO ₂)				
Azienda	3g	6g	9g	12g
CH	103.0	259.7	384.7	540.3
OH	15.7	106.7	179.7	287.5
CP	61.7	161.3	254.7	383.3
OP	19.7	118.3	196.3	348.7

Tabella 17 – Dati medi di respirazione del suolo, riferiti ai campionamenti estivi.

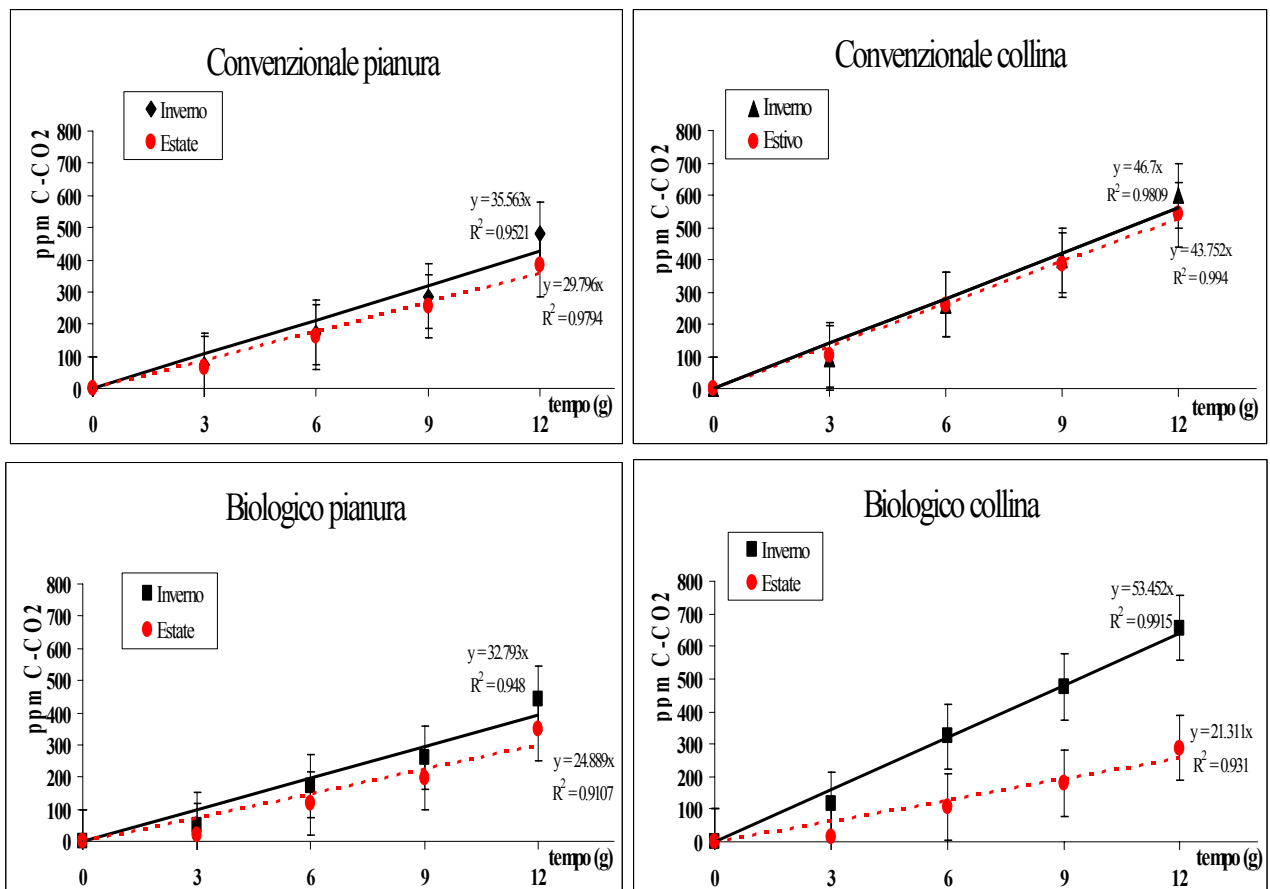


Figura 21 - Grafici degli andamenti di respirazione sulle 5 repliche per ognuno delle 4 aziende campione.

Per il calcolo dell'indicatore di respirazione microbica Irm, sono state prese in considerazione le medie dei valori invernali ed estivi riferiti al 12° giorno di incubazione (figura 22). Questo valore indica la CO₂ totale prodotta al tempo t considerato.

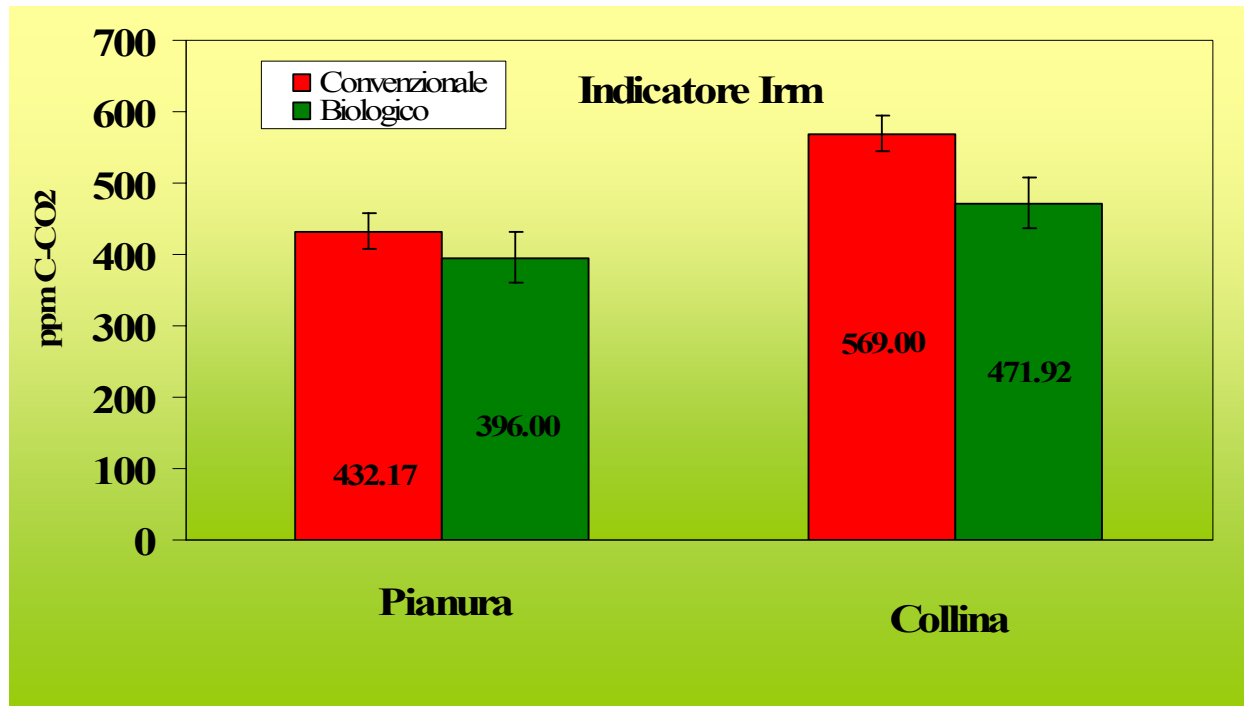


Figura 22 – Andamenti dell'indicatore di respirazione microbica nei due scenari analizzati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore Irm non è idoneo a discriminare le differenze fra le conduzioni, biologico contro convenzionale. Questo tipo di indicatore mostra che la respirazione è più accentuata nella conduzione convenzionale che in quella biologica. Si osserva anche una maggiore mobilità dei valori nello scenario di collina più che in quello di pianura, dove i valori risultano pressoché simili.

1.3 Salinità del suolo

L'indicatore di salinità del suolo ICs, è stato ottenuto dalle analisi di laboratorio come valutazione indiretta della conducibilità elettrica del suolo. I valori ottenuti per i 4 suoli sono riportati in tabella 18.

Azienda	Terreno	Salinità ($\mu\text{S/cm}$)
OH	Sup.	140.00
	Prof.	150.00
CH	Sup.	110.00
	Prof.	100.00
OP	Sup.	170.00
	Prof.	130.00
CP	Sup.	180.00
	Prof.	170.00

Tabella 18 – Valori di salinità dei 4 suoli.

L'indicatore ICs è stato calcolato come valore medio sulle profondità, i cui valori sono riportati in figura 23.

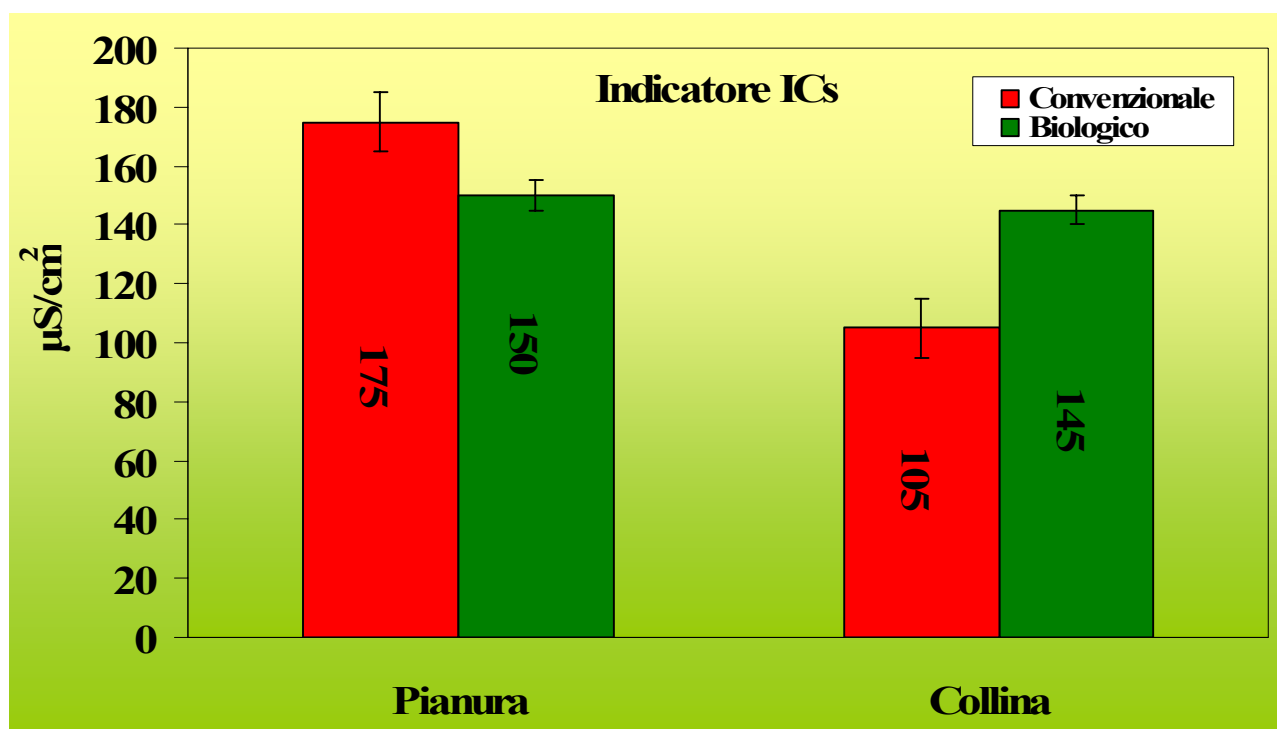


Figura 23 – Andamenti dell'indicatore di salinità nei due scenari esaminati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore ICs non è idoneo a discriminare le differenze fra le conduzioni, biologico contro convenzionale. L'indicatore evidenzia che i suoli di pianura hanno maggiore contenuto in sali rispetto a quelli di collina, considerazione da cui non è possibile evincere nessuna particolare evidenza.

1.4 Azoto totale dei suoli

Anche l'indicatore azoto totale dei suoli ICn è stato ottenuto dalle analisi di laboratorio i cui valori sono riportati in tabella 19.

Azienda	Terreno	N-tot - metodo Kjeldahl (‰)	
		Inverno	Estate
OH	Sup.	1.40	1.26
	Prof.	0.60	0.85
CH	Sup.	0.80	1.09
	Prof.	0.60	1.09
OP	Sup.	1.50	1.68
	Prof.	1.20	1.65
CP	Sup.	1.70	1.51
	Prof.	0.90	1.54

Tabella 19 – Valori di N-totale ottenuti dalle analisi dei 4 suoli

Dagli andamenti stagionali (inverno- estate) di azoto totale si può osservare un impoverimento superficiale con un arricchimento in profondità nel caso del terreno biologico di collina. Un comportamento analogo si osserva per il terreno convenzionale di pianura, mentre per le altre due aziende si registra un arricchimento sia in superficie che in profondità. L'indicatore ICn è stato calcolato come valore medio sulle profondità e sulle stagioni. I valori dell'indicatore sono riportati in figura 24.

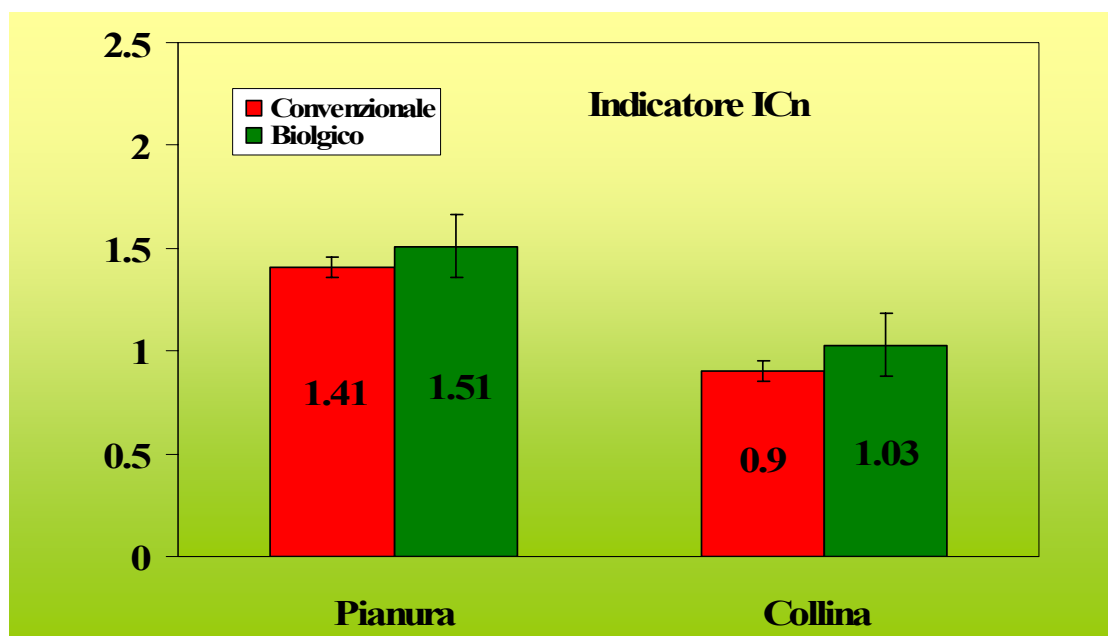


Figura 24 – Andamenti dell'indicatore di azoto totale nei due scenari esaminati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore ICn non è idoneo a discriminare le differenze fra le conduzioni, biologico contro convenzionale. È solo possibile notare un incremento

minimo di azoto nelle gestioni biologiche di entrambi gli scenari ma i valori non sono atti a discriminare le due conduzioni.

1.5 Fosforo assimilabile

I valori di fosforo assimilabile da cui è stato calcolato l'indicatore ICp sono riportati in tabella 20.

Azienda	Terreno	P-assimilabile - metodo Olsen (ppm)	
		Inverno	Estate
OH	Sup.	11.80	7.00
	Prof.	5.83	3.00
CH	Sup.	32.60	25.00
	Prof.	10.70	24.00
OP	Sup.	33.40	22.00
	Prof.	8.33	8.00
CP	Sup.	17.00	18.00
	Prof.	7.50	20.00

Tabella 20 – Valori di P-assimilabile ottenuti dalle analisi dei 4 suoli.

Dagli andamenti stagionali (inverno-estate) di fosforo assimilabile si può osservare un impoverimento su entrambe le profondità ed in entrambe le aziende biologiche. Si osserva un incremento, lungo i due profili di campionamento, solo nel caso dell'azienda convenzionale di pianura. Depauperamento superficiale con incremento in profondità è l'andamento del suolo proveniente dall'azienda convenzionale di collina.

L'indicatore ICp è stato calcolato come valore medio sulle profondità e sulle stagioni. I valori dell'indicatore sono riportati in figura 25.

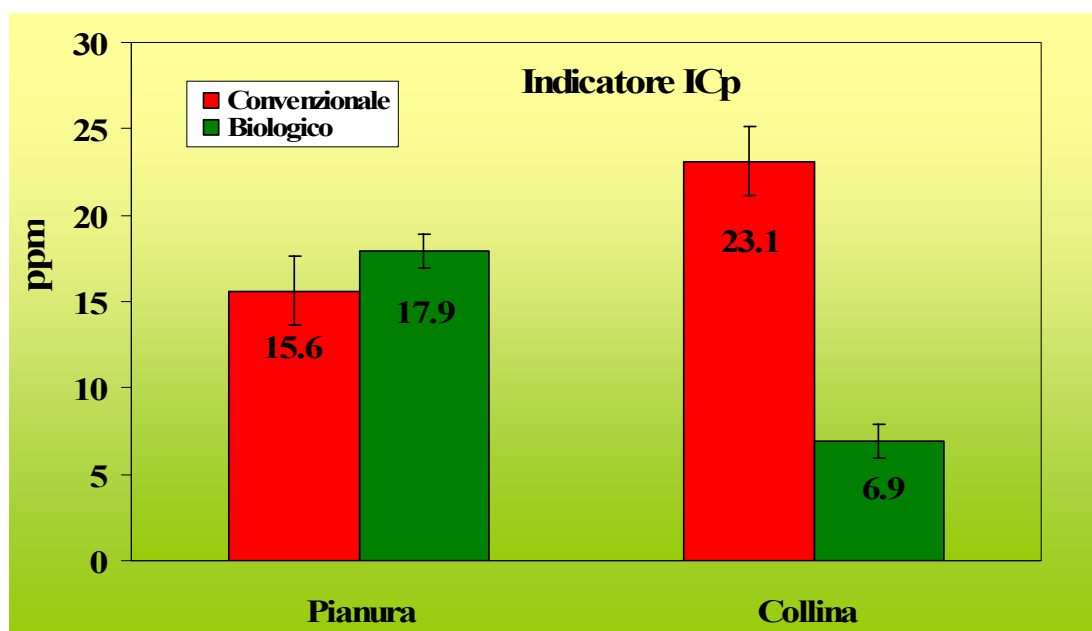


Figura 25 – Andamenti dell'indicatore di fosforo assimilabile nei due scenari esaminati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore ICp non è idoneo a discriminare le differenze fra le conduzioni, biologico contro convenzionale. È infatti possibile notare una adeguata dotazione nella gestione organica di pianura ma che risulta inadeguata in collina.

2. Rilievi floristici

Mediante i sopralluoghi aziendali è stato possibile effettuare rilievi floristici per la valutazione di indicatori di biodiversità vegetale. Le specie rinvenute nei due scenari, collina e pianura, sono riportate nelle tabelle 29 e 30.

2.1 Diversità di specie (erbacee-arbustive-arboree)

L'indicatore di diversità di specie IDv è stato calcolato a partire dai rilievi floristici a cui sono stati associati valori numerici della percentuale copertura secondo la metodica di Braun-Blanquet. Nelle tabelle 21, 22, 23 e 24 sono riportate le specie rilevate in ogni scenario e le rispettive percentuali di copertura.

Azienda AUB (Convenzionale di collina)		
	Specie	% copertura (media di 8 sopralluoghi)
Arboree	<i>Robinia pseudoacacia</i>	40
	<i>Salice alba</i>	10
	<i>Sambucus nigra</i>	10
	<i>Populus nigra</i>	40
	<i>Clematis vitalba</i>	30
	<i>Ficus carica</i>	20
Arbustive	<i>Vitis</i>	10
	<i>Ulmus minor</i>	80
	<i>Crataegus monogyna</i>	10
	<i>Edera helix</i>	25
	<i>Rosa canina</i>	10
	<i>Rubus caesius (rovo)</i>	20
Erbacee	<i>Pulmonaria officinalis</i>	10
	<i>Urtica dioica</i>	20
	<i>Poa trivialis</i>	50
	<i>Broussonetia papyrifera</i>	40
	<i>Poa pratensis</i>	60
	<i>Plantago major</i>	10
	<i>Lactuca serriola</i>	5
	<i>Bromus hordeaceus</i>	20
	<i>Bromus erectus</i>	20

Tabella 21 – Specie e percentuali di copertura rilevate nell'azienda convenzionale di collina.

Azienda DULCAMARA (Biologica di collina)		
	Specie	% copertura (media di 8 sopralluoghi)
Arboree	<i>Robinia pseudoacacia</i>	55
	<i>Cedrus atlantica</i>	55
	<i>Cornus sanguinea</i>	20
	<i>Sambucus nigra</i>	20
	<i>Acer pseudoplatanus</i>	20
	<i>Acer campestre</i>	10
	<i>Ulmus minor</i>	30
	<i>Crataegus monogyna</i>	10
	<i>Quercus petraea</i>	50
	<i>Ligustrum vulgare</i>	10
Arbustive	<i>Ligustrum japonicum</i>	30
	<i>Prunus spinosa</i>	55
	<i>Rosa canina</i>	20
	<i>Rubus caesius</i>	40
	<i>Spartium junceum</i>	5
	<i>Agropyron repens</i>	10
	<i>Avena sterilis</i>	30
Erbacee	<i>Bromus sterilis</i>	30
	<i>Dactylis glomerata</i>	5
	<i>Anthemis altissima</i>	10
	<i>Plantago minor</i>	5
	<i>Plantago major</i>	5
	<i>Alopecurus myosuroides</i>	15
	<i>Poa trivialis</i>	15
	<i>Lolium multiflorum</i>	20

Tabella 22 – Specie e percentuali di copertura rilevate nell'azienda biologica di collina.

Azienda BONDI (Convenzionale di pianura)		
	Specie	% copertura (media di 8 sopralluoghi)
Arboree	<i>Salix alba</i>	80
	<i>Ulmus minor</i>	5
	<i>Achillea millefolium</i>	5
	<i>Agropyron spp.</i>	20
	<i>Aristolochia clematitis</i>	5
	<i>Equisetum arvense</i>	20
	<i>Galium aparine</i>	5
	<i>Ornithogallum narbonense</i>	5
	<i>Poa spp.</i>	10
	<i>Potentilla reptans</i>	20
	<i>Ranunculus spp.</i>	20
	<i>Rumex acetosa</i>	5
	<i>Avena sterilis</i>	30
	<i>Bromus hordeaceus</i>	10
	<i>Bromus sterilis</i>	10
Erbacee	<i>Alopecurus myosuroides</i>	10
	<i>Daucus carota</i>	5
	<i>Plantago lanceolata</i>	5
	<i>Alisma plantago-acquatica</i>	20
	<i>Lythrum salicaria</i>	5
	<i>Picris echioides</i>	10
	<i>Geranium dissectum</i>	5
	<i>Convolvulus arvensis</i>	5
	<i>Galium verum</i>	20

Tabella 23 – Specie e percentuali di copertura rilevate nell'azienda convenzionale di pianura.

Azienda FERRETTI (Biologica di pianura)		
	Specie	% copertura (media di 8 sopralluoghi)
Arboree	<i>Salix alba</i>	80
	<i>Ulmus minor</i>	10
Erbacee	<i>Agropyron repens</i>	30
	<i>Alisma plantago-acquatica</i>	20
	<i>Alopecurus myosuroides</i>	20
	<i>Avena spp.</i>	60
	<i>Avena sterilis</i>	30
	<i>Bromus spp.</i>	10
	<i>Bromus hordeaceus</i>	5
	<i>Convolvulus arvensis</i>	5
	<i>Cynodon spp.</i>	40
	<i>Cyperus spp.</i>	20
	<i>Geranium dissectum</i>	5
	<i>Picris echioides</i>	20
	<i>Polygonum aviculare</i>	30
	<i>Poa trivialis</i>	10
	<i>Urtica dioica</i>	20

Tabella 24 – Specie e percentuali di copertura rilevate nell'azienda biologica di pianura.

A partire dalle percentuali di copertura di ogni specie è stato calcolato l'indice di diversità di Shannon Weaver secondo la formula :

$$IDv = - \sum (Ps * \log Ps) \quad [n]$$

Dove a Ps è stato associato la classe o il codice di Braun-Blanquet sulla base della % di copertura di ogni specie rilevata.

L'indicatore finale di IDv è riportato in figura 26.

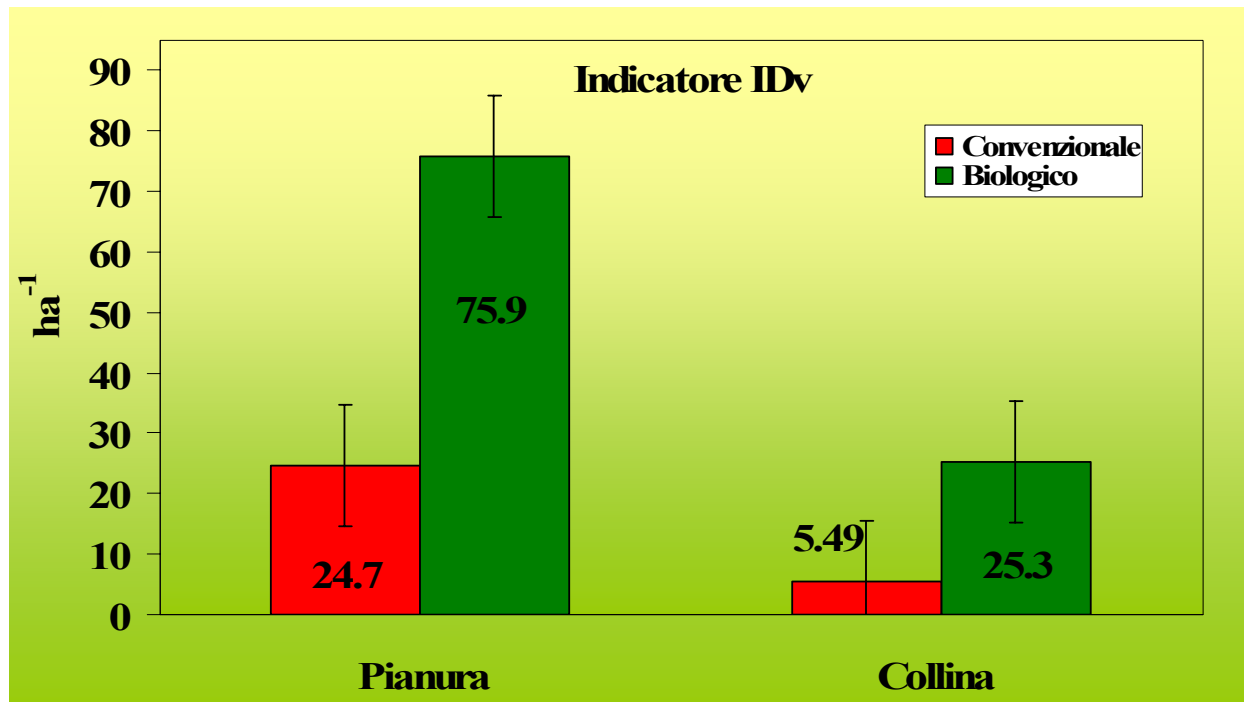


Figura 26 – Andamenti dell'indicatore di diversità di specie (erbacee-arbustive-arboree) nei due scenari esaminati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore IDv è idoneo a discriminare le differenze fra le conduzioni, biologico contro convenzionale. È infatti possibile notare un incremento di diversità di specie nella gestione biologica, in entrambi gli scenari, anche se le differenze maggiori sono da osservare nello scenario di pianura.

2.2 Ricchezza di specie (erbacee-arbustive-arboree)

Anche l'indicatore di ricchezza di specie IRv è stato calcolato a partire dai rilievi floristici ed in particolare sono stati calcolati, per ogni scenario, il totale degli individui per ogni specie.

I valori dell'indicatore così ottenuto sono riportati nella figura 27.

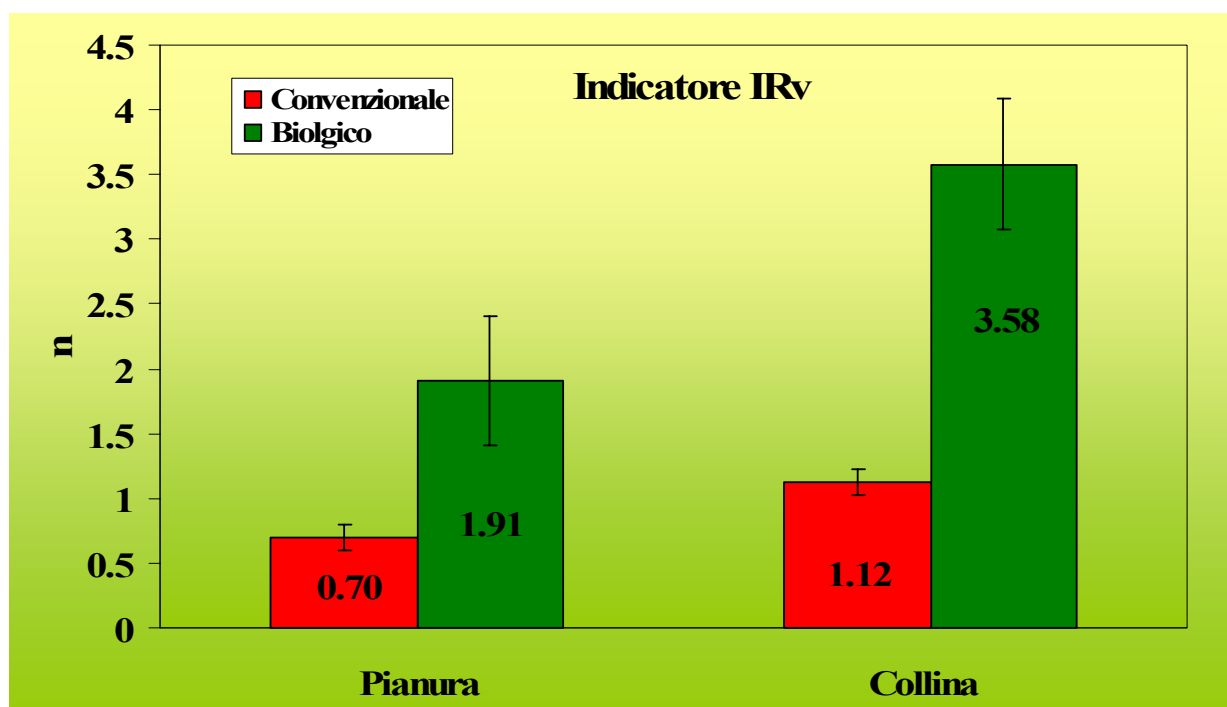


Figura 27 – Andamenti dell'indicatore di ricchezza di specie (erbacee-arbustive-arboree) nei due scenari esaminati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore IRv è idoneo a discriminare le differenze fra le conduzioni, biologico contro convenzionale. È infatti possibile notare un incremento di ricchezza di specie nella gestione biologica, in entrambi gli scenari. Le differenze maggiori sono da osservare nello scenario di collina poiché l'azienda risente della vicinanza di un parco regionale. Le differenze sono comunque cospicue sia a livello di scenario che di gestione.

2.3 Diversità di specie erbacee

L'indicatore di diversità di specie erbacee IDve è stato valutato considerando le sole specie erbacee infestanti rinvenute negli appezzamenti coltivati. La rilevazione delle specie è stata effettuata con il metodo dei lanci (par. 4.3.3). Nelle tabelle 25, 26, 27 e 28 sono riportate il numero delle specie infestanti rilevate nelle parcelle delle quattro aziende campione.

Azienda AUB (Convenzionale di collina)	
Specie	Numero di specie infestati
<i>Anthemis altissima</i>	1
<i>Phalaris paradoxa</i>	1
<i>Legousia speculum veneris</i>	1
<i>Convolvulus arvensis</i>	4
<i>Euphorbia esula</i>	2
<i>Anagallis arvensis</i>	5
<i>Polygonum aviculare</i>	3
<i>Avena sterilis</i>	1
<i>Vicia sativa</i>	1
<i>Alopecurus myosuroides</i>	1
<i>Ranunculus arvensis</i>	1

Tabella 25- Numero di specie infestanti rilevate nelle parcelle dell'azienda convenzionale di collina.

Azienda DULCAMARA (Biologico di collina)	
Specie	Numero di specie infestati
<i>Alopecurus myosuroides</i>	4
<i>Anagallis arvensis</i>	15
<i>Anthemis altissima</i>	4
<i>Nigella spp.</i>	1
<i>Convolvulus arvensis</i>	1
<i>Avena sterilis</i>	7
<i>Polygonum aviculare</i>	3
<i>Ranunculus arvensis</i>	2
<i>Picris echioides</i>	1
<i>Phalaris paradoxa</i>	1
<i>Euforbia esula</i>	1
<i>Cirsium vulgare</i>	1
<i>Fallopia convolvulus</i>	5

Tabella 26- Numero di specie infestanti rilevate nelle parcelle dell'azienda biologica di collina.

Azienda FERRETTI (Biologica di pianura)	
Specie	Numero di specie infestati
<i>Papaver rhoeas</i>	14
<i>Polygonum aviculare</i>	7
<i>Euforbia esula</i>	6
<i>Legousia speculum veneris</i>	3
<i>Avena sterilis</i>	5
<i>Fallopia convolvulus</i>	2

Tabella 27 - Numero di specie infestanti rilevate nelle parcelle dell'azienda Biologica di pianura.

Azienda BONDI (Convenzionale di pianura)	
Specie	Numero di specie infestati
<i>Echinochloa</i>	1
<i>Equisetum arvense</i>	2
<i>Polygonum aviculare</i>	1
<i>Avena sterilis</i>	1

Tabella 28 - Numero di specie infestanti rilevate nelle parcelle dell'azienda convenzionale di pianura.

Il calcolo dell'indicatore finale, i cui valori sono riportati in figura 28, è stato effettuato con l'indice di diversità di Shannon Weaver (secondo la formula precedentemente esposta).

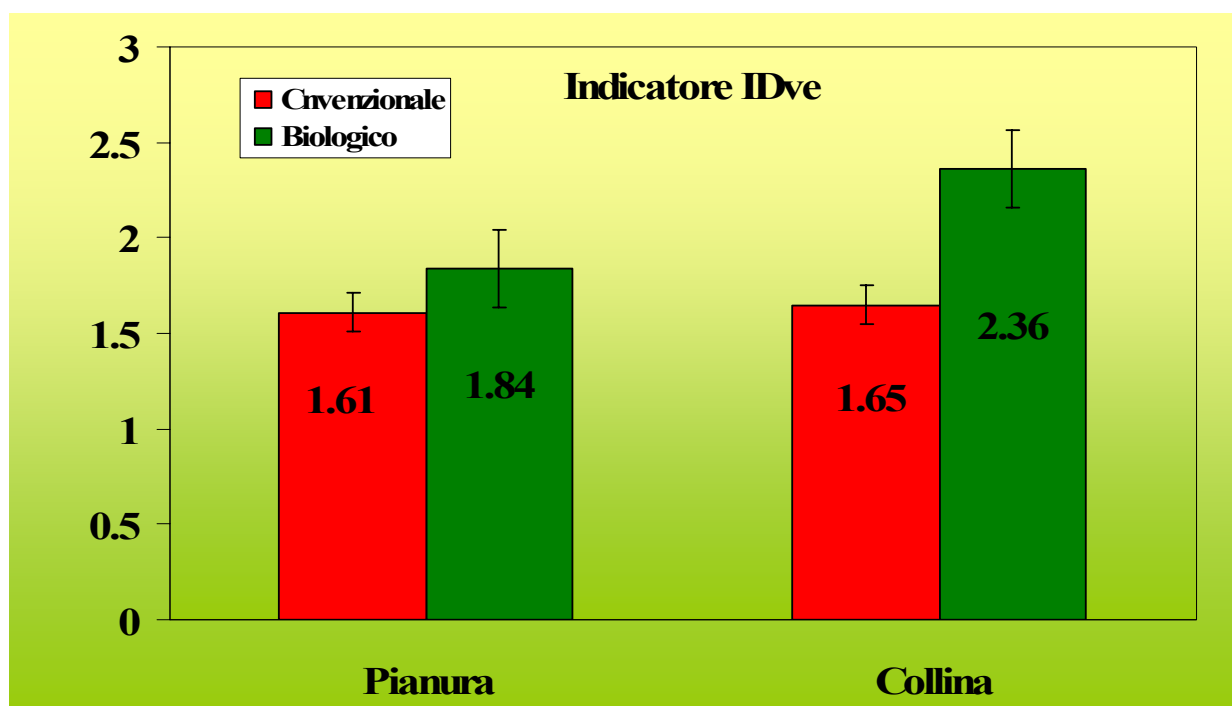


Figura 28 – Andamenti dell'indicatore di diversità di specie (erbacee) nei due scenari esaminati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore IDve è idoneo a discriminare le differenze fra le conduzioni, biologico contro convenzionale. È infatti possibile notare un incremento di diversità di specie nella gestione biologica, in entrambi gli scenari. Le differenze maggiori

sono da osservare nello scenario di collina sempre imputabili alla vicinanza del parco dei Gessi.

2.4 Ricchezza di specie erbacee

Sempre partendo dai rilievi effettuati con il metodo dei lanci, è stato calcolato l'indicatore ricchezza di specie erbacee IRve i cui valori sono riportati in figura 29.

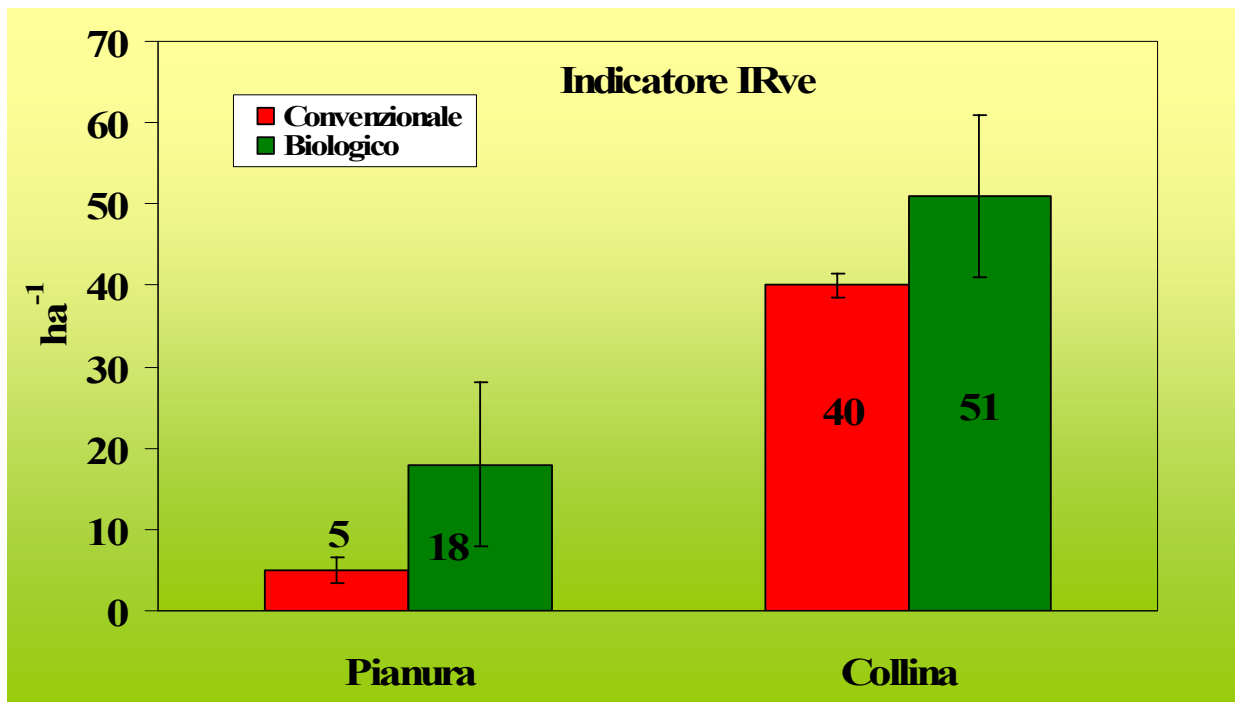


Figura 29– Andamenti dell'indicatore di ricchezza di specie (erbacee) nei due scenari esaminati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore IRve è idoneo a discriminare le differenze fra le conduzioni, biologico contro convenzionale. È infatti possibile notare un incremento del numero delle specie rinvenute nelle aziende biologiche di entrambi gli scenari. Le differenze maggiori sono da osservare nello scenario di pianura mentre si assottigliano nell'ambiente collinare. Le differenze sono comunque cospicue sia a livello di scenario che di gestione.

3. Rilievi cartografici

3.1 Superfici naturali

L'indicatore in esame è stato valutato considerando superfici naturali quali: pascoli, fasce vegetate, affioramenti rocciosi, siepi, macchie di bosco, fasce ripariali, alberature e aree umide quali maceri. La sommatoria di queste superfici è stata rapportandoli alla superficie

aziendale totale (SAT) di ogni azienda campione ed espressa in percentuale. I valori ottenuti sono riportati in figura 30.

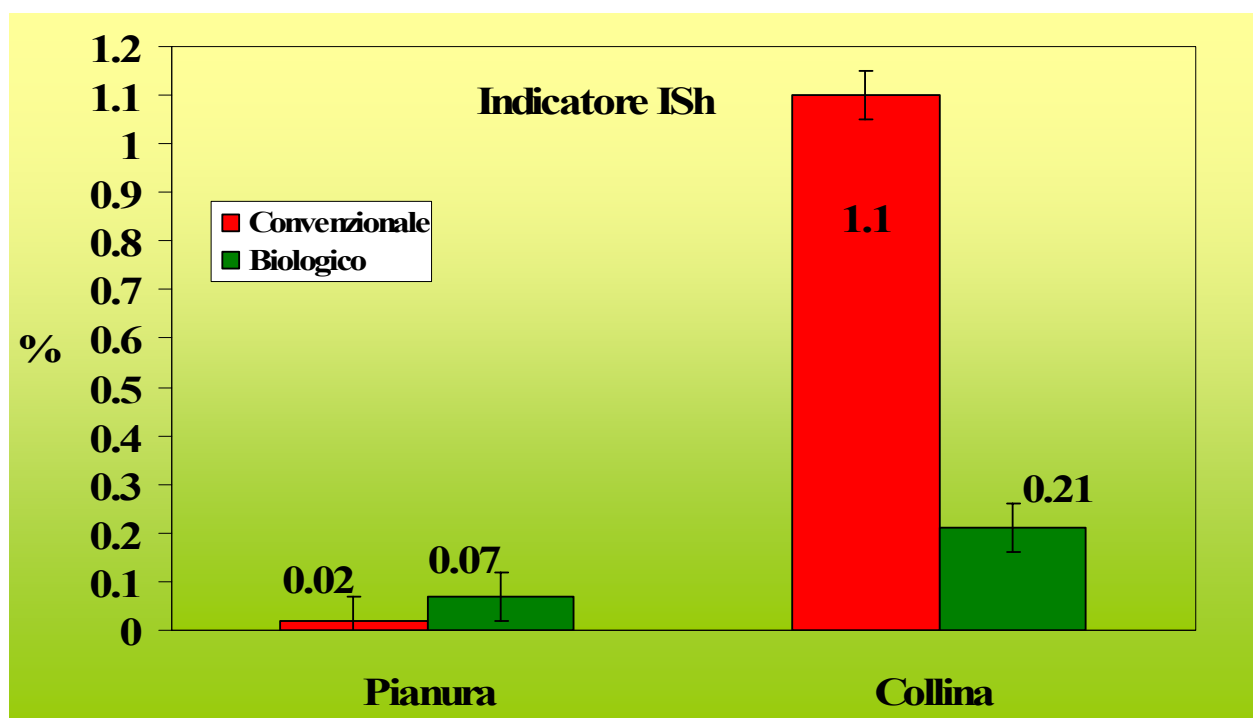


Figura 30 – Andamenti dell'indicatore % di superficie naturale nei due scenari esaminati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore ISh non è idoneo a discriminare le differenze fra le conduzioni, biologico contro convenzionale. Sebbene si osservi un minimo incremento di superfici naturali nello scenario di pianura, il trend non è univoco per quanto riguarda le aziende di collina.

3.2 Numero degli ambienti naturali

Oltre che la percentuale di superfici naturali, dai sopralluoghi è stato possibile anche identificare il numero di ambienti naturali. I valori ottenuti sono stati rapportati alla SAT di ogni azienda campione e sono riportati in tabella 31.

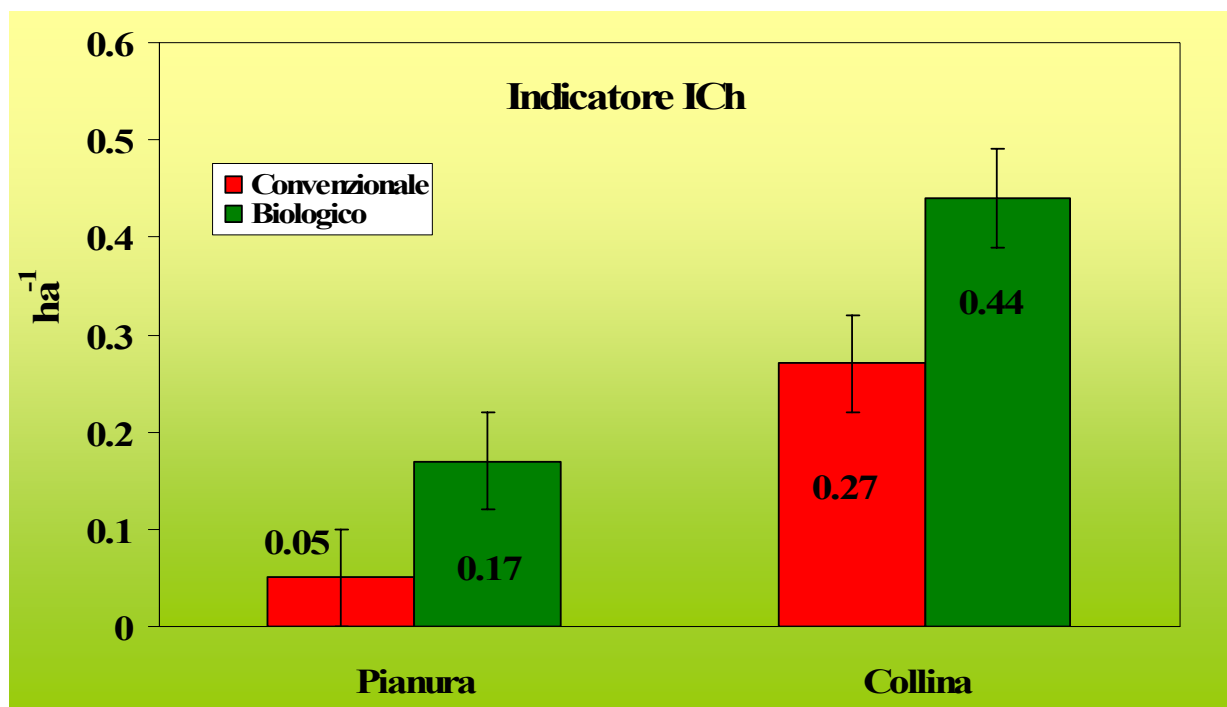


Figura 31– Andamenti dell'indicatore numero di ambienti naturali nei due scenari esaminati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore ICh è idoneo a discriminare le differenze fra le conduzioni, biologico contro convenzionale. Si osserva un incremento del numero di ambienti naturali nelle aziende biologiche di entrambi gli scenari in questione, anche se l'enorme eterogeneità di ambienti osservati con i sopralluoghi consiglia di utilizzare questo indicatore con cautela.

<i>Acer campestre</i>	<i>Eupatorium cannabinum</i>	<i>Plantago minor</i>
<i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Festuca spp</i>	<i>Poa pratensis</i>
<i>Aegilops geniculata</i>	<i>Ficus carica (fico)</i>	<i>Poa spp.</i>
<i>Agropyron repens</i>	<i>Fraxinus ornus (orniello)</i>	<i>Poa trivialis</i>
<i>Alopecurus myosuroides</i>	<i>Galega Off.</i>	<i>Populus Nigra</i>
<i>Anagallis arvensis</i>	<i>Galium aparine</i>	<i>Potentilla reptans</i>
<i>Anthemis altissima</i>	<i>Galium mollugo</i>	<i>Prunus spinosa (prugnolo)</i>
<i>Anthemis tinctoria</i>	<i>Geranium dissectum</i>	<i>Pulmonaria officinalis</i>
<i>Artemisia vulgaris</i>	<i>Gladiolus segetum</i>	<i>Pyrus pyraister</i>
<i>Arundo donax</i>	<i>Glechoma hederacea</i>	<i>Quercus petraea (rovere)</i>
<i>Avena sterilis</i>	<i>Hedysarum coronatum</i>	<i>Quercus pubescens</i>
<i>Bromus spp.</i>	<i>Ipericum perforatum</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>
<i>Bromus erectus</i>	<i>Juglans nigra</i>	<i>Rosa canina</i>
<i>Bromus hordeaceus</i>	<i>Juglans regia (noce)</i>	<i>Rubus caesius (rovo)</i>
<i>Bromus Murinum</i>	<i>Lactuca serriola</i>	<i>Rumex crispus</i>
<i>Bromus sterilis</i>	<i>Lamium spp.</i>	<i>Rumex spp.</i>
<i>Broussonetia Papyrifera</i>	<i>Lapsana communis</i>	<i>Salix alba (salice bianco)</i>
<i>Calystegia sepium</i>	<i>Lathyrus sylvestris</i>	<i>Sambucus nigra</i>
<i>Cedrus atlantica</i>	<i>Legousia spec. veneris</i>	<i>Sanguisorba minor</i>
<i>Centarium Umbellatum</i>	<i>Ligustrum japonicum</i>	<i>Scabiosa columbaria</i>
<i>Centaurea jacea</i>	<i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Sinapis arvensis</i>
<i>Cichorium Intybus</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Sonchus asper</i>
<i>Cirsium arvense</i>	<i>Lolium perenne</i>	<i>Spartium junceum</i>
<i>Cirsium spp</i>	<i>Malva sylvestris</i>	<i>Stachis Sylvatica</i>
<i>Cirsium vulgare</i>	<i>Matricaria chamomilla</i>	<i>Stellaria media</i>
<i>Clematis vitalba</i>	<i>Medicago lupulina</i>	<i>Taraxacum officinale</i>
<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Melandryum album</i>	<i>Trifolium spp.</i>
<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Meliloto Offcinalis</i>	<i>Trifolium Incarnato</i>
<i>Coronilla varia</i>	<i>Mentha spp.</i>	<i>Trifolium repens</i>
<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Morus alba (gelso)</i>	<i>Ulmus minor</i>
<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Papaver rhoas</i>	<i>Urtica dioica</i>
<i>Daucus carota</i>	<i>Parietaria judaica</i>	<i>Verbena officinalis</i>
<i>Echinochloa spp</i>	<i>Phalaris paradoxa</i>	<i>Vicia sativa</i>
<i>Edera helix</i>	<i>Picris echioides</i>	<i>Vitis vinifera</i>
<i>Equisetum arvense</i>	<i>Plantago lanceolata</i>	<i>Xanthium Italicum (lappa)</i>
<i>Equisetum Telmateia</i>	<i>Plantago major</i>	

Tabella 29 – Lista delle specie rilevate in collina.

<i>Achillea millefolium</i>	<i>Clematis alpine</i>	<i>Poa spp.</i>
<i>Abutilon theophrasti</i>	<i>Medicus Convolvulus arvensis</i>	<i>Poa trivialis</i>
<i>Agrimonia eupatoria</i>	<i>Crepis spp</i>	<i>Polygonum aviculare</i>
<i>Agropyron repens</i>	<i>Cuscuta</i>	<i>Polygonum lapathifolium</i>
<i>Agropyron spp.</i>	<i>Cynodon spp.</i>	<i>Potentilla reptans</i>
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	<i>Cyperus spp.</i>	<i>Ranunculus repens</i>
<i>Alopecurus myosuroides</i>	<i>Daucus carota</i>	<i>Ranunculus spp.</i>
<i>Anagallis arvensis</i>	<i>Equisetum arvense</i>	<i>Rumex acetosa (acetosella)</i>
<i>Anagallis foemina</i>	<i>Galium aparine</i>	<i>Rumex crispus</i>
<i>Anagallis spp</i>	<i>Galium mollugo</i>	<i>Salix alba (salice bianco)</i>
<i>Aristolochia clematidis</i>	<i>Galium verum</i>	<i>Salvia pratensis</i>
<i>Artemisia vulgaris</i>	<i>Geranium dissectum</i>	<i>Scandix pecten-veneris</i>
<i>Avena spp.</i>	<i>Gladiolus segetum</i>	<i>Scolymus hispanicus</i>
<i>Avena sterilis</i>	<i>Glechoma hederacea</i>	<i>Sinapis arvensis</i>
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	<i>Lemna spp.</i>	<i>Sonchus asper</i>
<i>Bromus spp.</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Symphytum officinale</i>
<i>Bromus erectus</i>	<i>Lotus corniculatus</i>	<i>Taraxacum Off.</i>
<i>Bromus hordeaceus</i>	<i>Lythrum salicaria</i>	<i>Trifolium pratense</i>
<i>Butomus umbellatus</i>	<i>Matricaria chamomilla</i>	<i>Trifolium repens (tr. Bianco)</i>
<i>Calystegia arvensis</i>	<i>Melandryum album</i>	<i>Typha latifolia</i>
<i>Calystegia sepium</i>	<i>Myosotis arvensis</i>	<i>Ulmus minor</i>
<i>Chenopodium album</i>	<i>Ornithogallum narbonense</i>	<i>Urtica dioica</i>
<i>Chenopodium polyspermum</i>	<i>Papaver rhoas</i>	<i>Veronica anagallis-aquatica</i>
<i>Chenopodium vulvaria</i>	<i>Picris echioides</i>	<i>Veronica Persica</i>
<i>Cirsium vulgare</i>	<i>Plantago lanceolata</i>	<i>Vitis vinifera</i>

Tabella 30 – Lista delle specie rilevate in pianura.

Le foto aeree di seguito riportate evidenziano le collocazioni degli ambienti naturali riscontrati in entrambi gli scenari (figura 20 e 21). Dall'identificazione di questi ambienti è avvenuta secondo quanto proposto da Boller (2004).

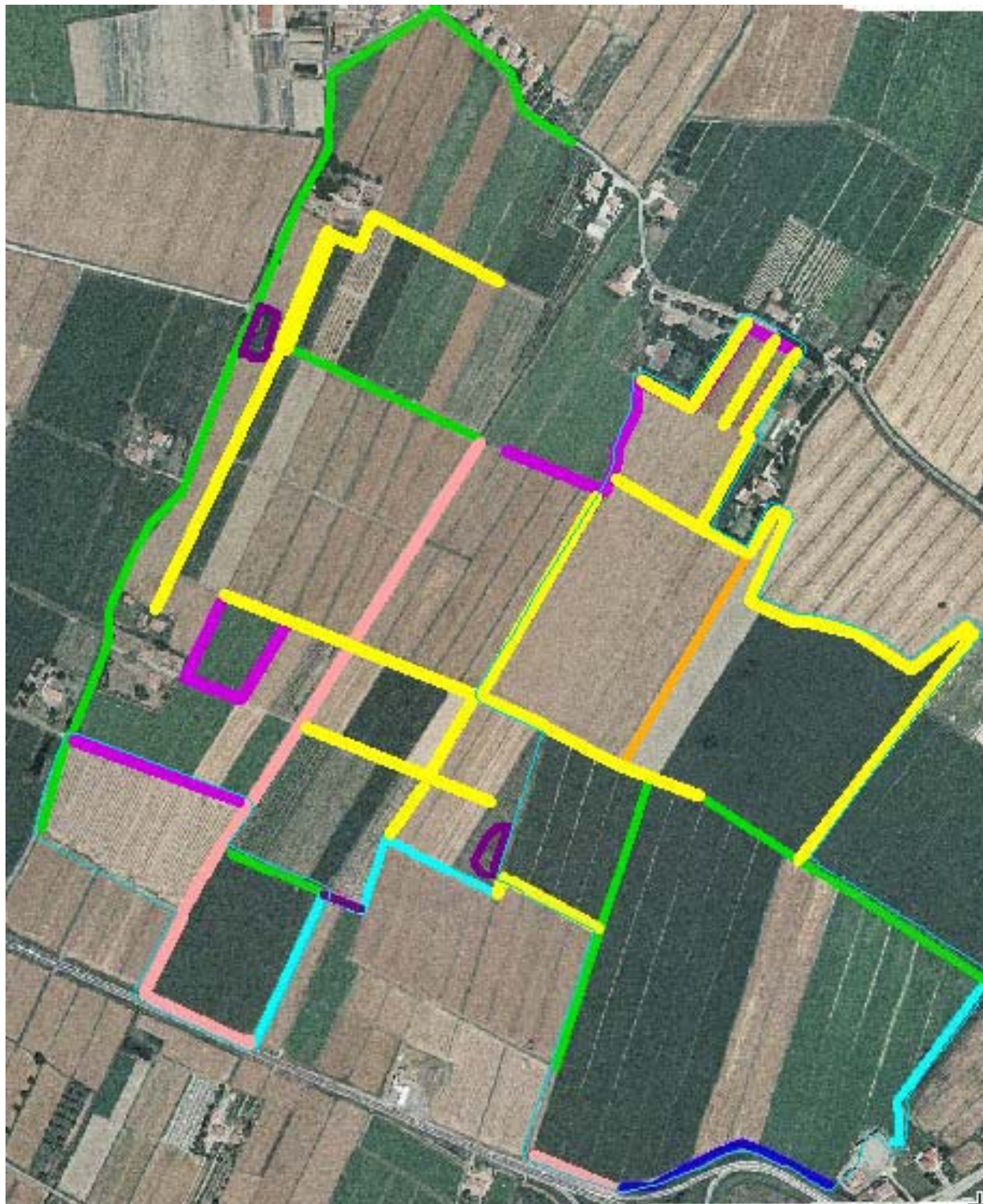


Figura 32 – Collocazione degli ambienti naturali nello scenario di pianura.

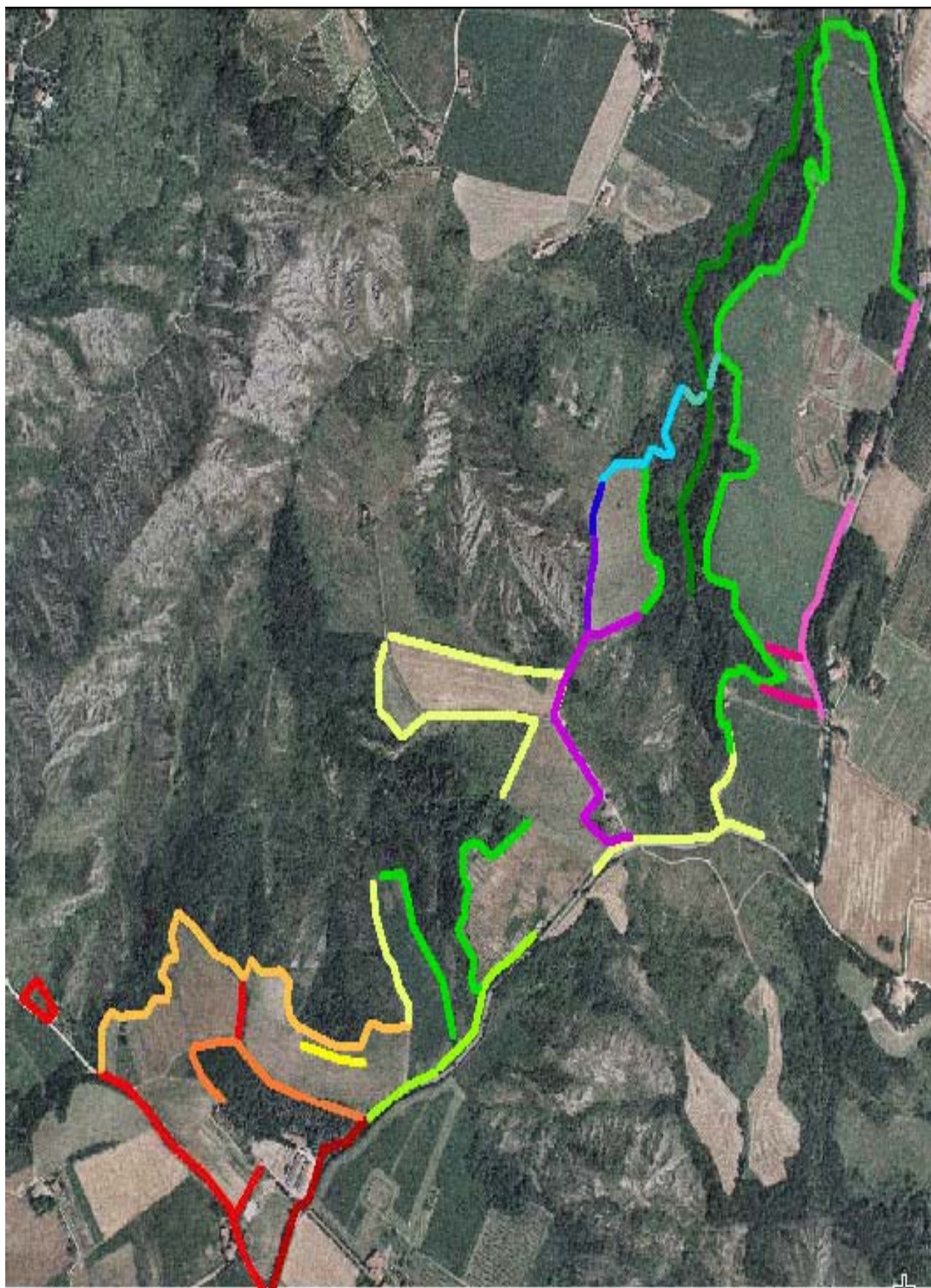


Figura 33 – Collocazione degli ambienti naturali nello scenario di collina.

3.3 Lunghezza delle siepi

In seguito all'identificazione dei bordi, è stato possibile calcolare l'indicatore di lunghezza delle siepi. Tale indicatore è stato valutato come rapporto lunghezza siepi/superficie aziendale (SAU) e i valori ottenuti sono riportati in figura 34.

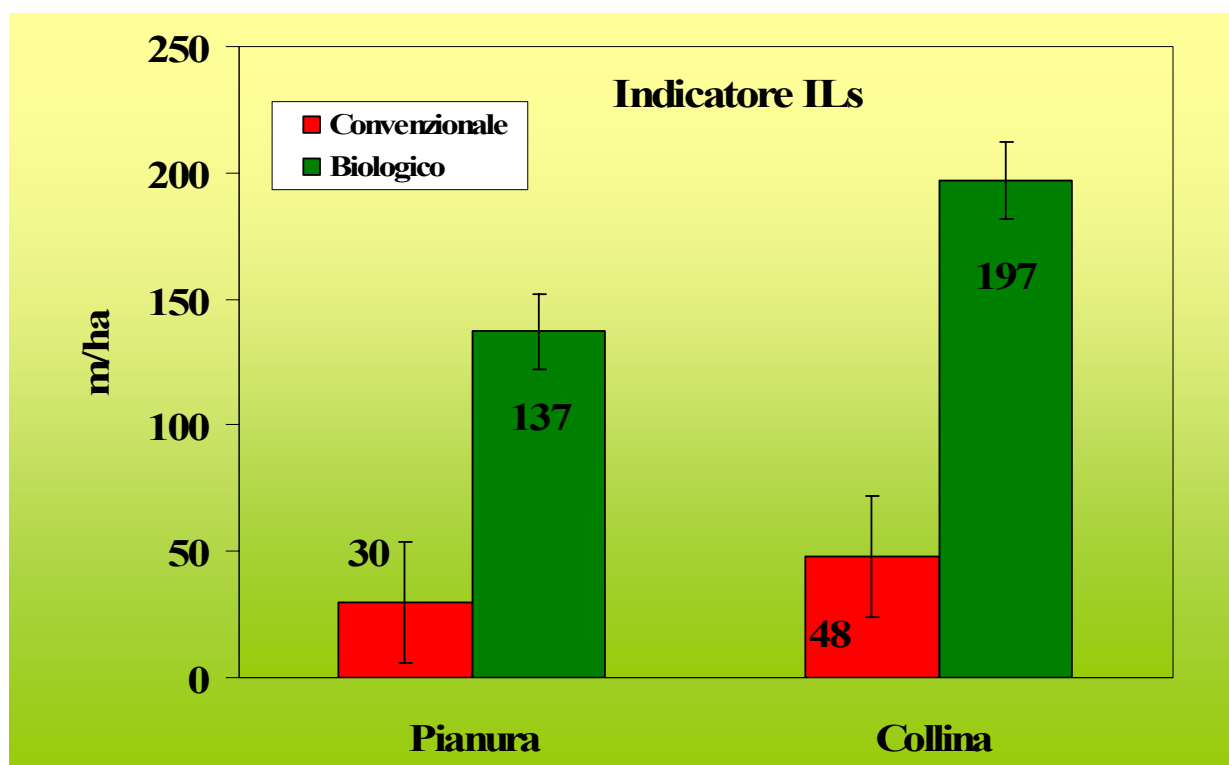


Figura 34 – Andamenti dell'indicatore lunghezza delle siepi nei due scenari esaminati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore ICh è idoneo a discriminare le differenze fra le conduzioni, biologico contro convenzionale. Si osserva un notevole incremento della lunghezza delle siepi sia fra le due tipologie di aziende che fra i due scenari considerati.

3.4 Lunghezza rete scolante superficiale funzionante

Sempre attraverso i sopralluoghi, supportati dal analisi GIS, è stato possibile valutare l'indicatore relativo alla lunghezza della rete scolante superficiale funzionante. Le elaborazioni GIS hanno permesso l'identificazione dei valori della lunghezza della rete (figure 35 e 36), prendendo in considerazione sia la rete naturale che quella artificiale.

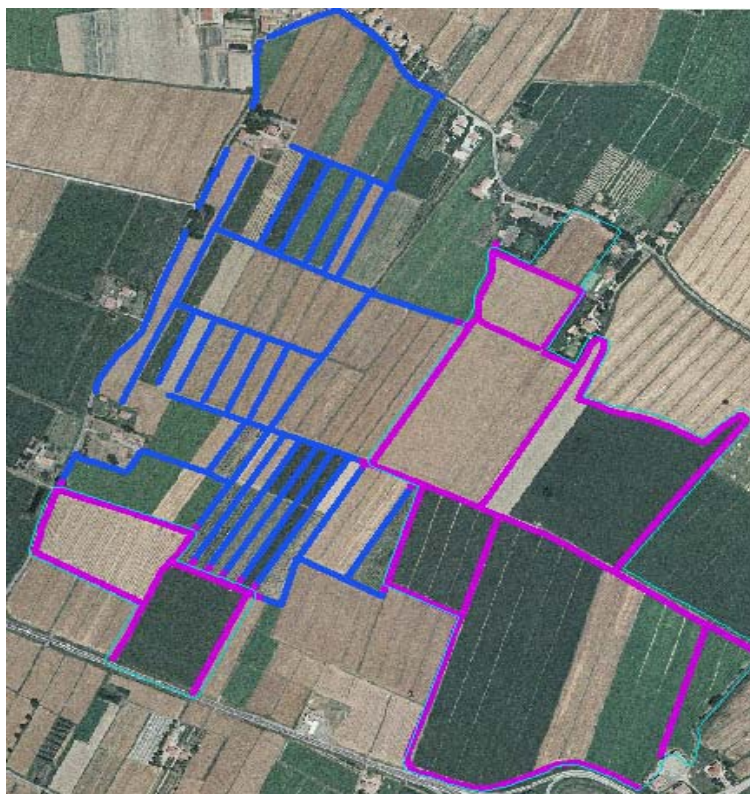


Figura 35 – Reticolo di scopo per le aziende di pianura. In viola l'idrologia all'azienda convenzionale; in blu quella relativa all'azienda biologica.

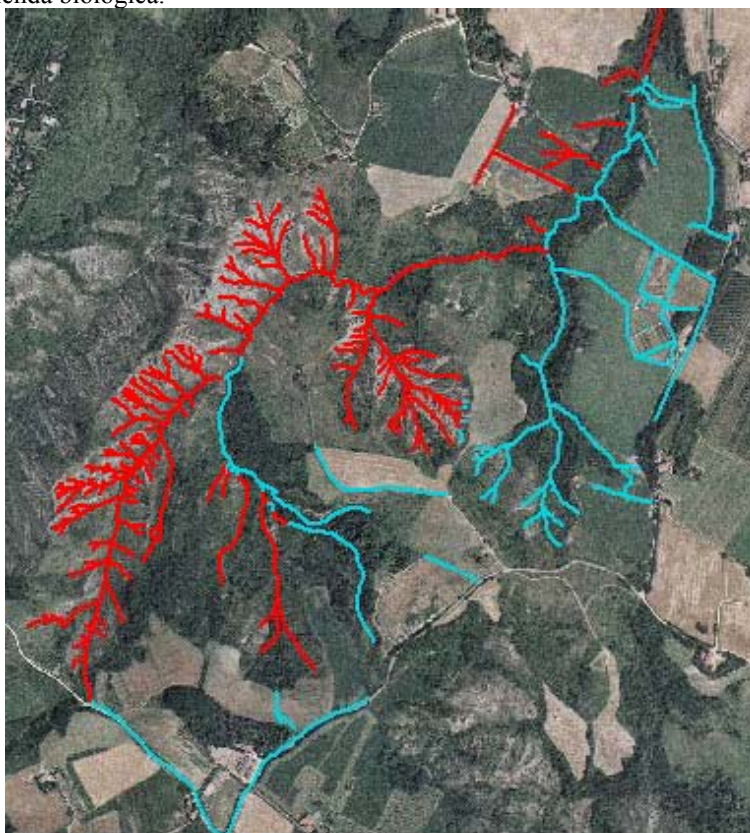


Figura 36 – Reticolo di scopo per le aziende di collina. In blu la rete relativa alle aziende campione; in rosso la rete naturale.

Rapportando i valori della lunghezza della rete scolante alla superficie aziendale (SAU), è stato calcolato l'indicatore lunghezza rete scolante funzionante i cui valori sono riportati in tabella 31 e figura 37.

	C (Convenzionale)	O (Biologico)	
	5619	8757	Lunghezza (m)
P (Pianura)	145	265	Lunghezza relativa (m/ha)
	7625	1174	Lunghezza (m)
H (Collina)	228	86	Lunghezza relativa (m/ha)

Tabella 31 – Valori dell'indicatore ILi (m/ha).

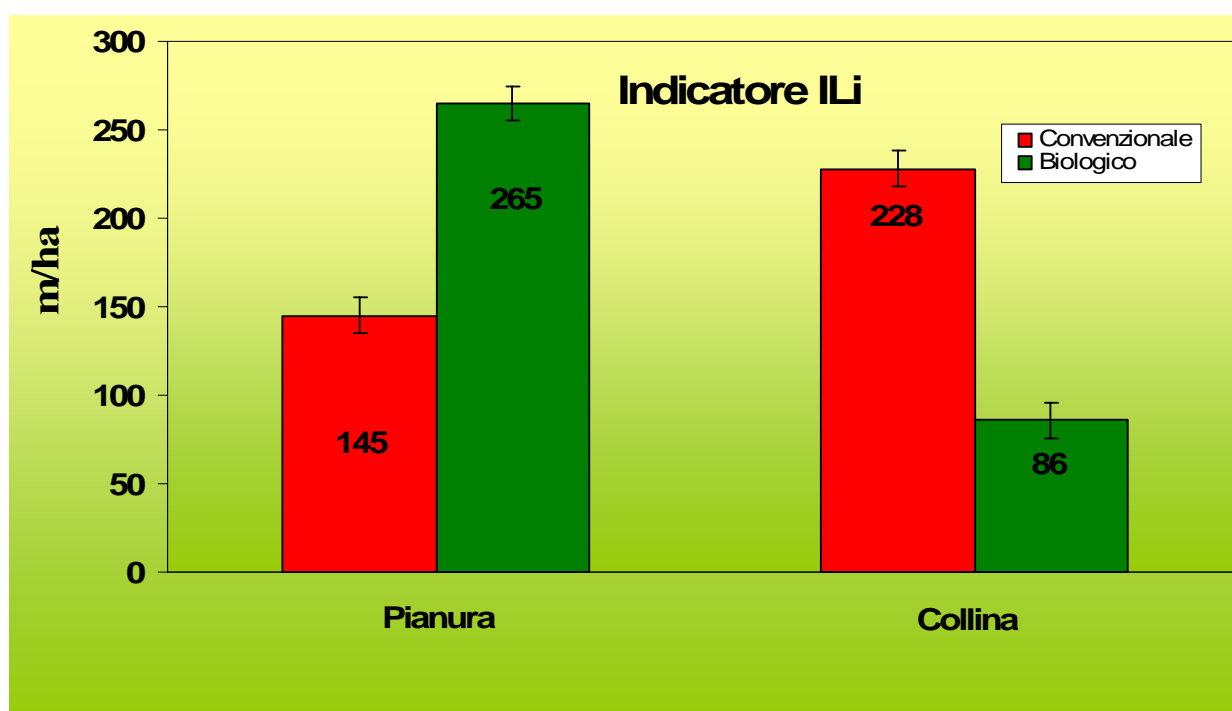


Figura 37 – Andamenti dell'indicatore lunghezza della rete scolante nei due scenari esaminati.

Dai risultati ottenuti si evince che l'indicatore ILi non è idoneo a discriminare le differenze fra le conduzioni, biologico contro convenzionale. Si osserva un aumento della lunghezza della rete scolante solo nell'azienda biologica di pianura, situazione opposta per lo scenario di collina.

5. Considerazione conclusive sugli indicatori esaminati

Dai risultati ottenuti si deduce che non tutti gli indicatori selezionati e valutati sono risultati idonei a discriminare le differenze fra i due tipi di conduzione. Nella tabella sottostante sono riportati gli indicatori presi in esame.

Sigla	Indicatore	Idoneità
ICso	Contenuto di sostanza organica	✗
Irm	Respirazione microbica	✗
ILs	Lunghezza siepi	✓
ILi	Lunghezza rete scolante superficiale funzionante	✗
ISh	Superfici naturali	✗
ICH	Numero ambienti naturali	✓
IDv	Diversità di specie (erbacee-arbustive-arboree)	✓
IRv	Ricchezza di specie (erbacee-arbustive-arboree)	✓
IDve	Diversità di specie erbacee	✓
IRve	Ricchezza di specie erbacee	✓
ICs	Salinità del suolo	✗
ICn	Azoto totale dei suoli	✗
ICp	Fosforo assimilabile	✗

Tabella 32 – Indicatori valutati e rispettivi giudizi di idoneità.

Per quanto riguarda le determinazioni analitiche di laboratorio, gli indicatori valutati sono risultati non idonei a discriminare le due conduzioni sia nello scenario di pianura che in quello di collina. L'indicatore di contenuto di azoto totale (ICn) ha evidenziato un incremento minimo nella gestione organica di entrambi gli scenari ma i valori non sono atti a discriminare le due conduzioni. Anche l'indicatore di contenuto di sostanza organica (ICso) è risultato non idoneo poichè ha evidenziato un incremento significativo di sostanza organica solo nelle aziende biologiche di collina, trend non confermato nello scenario di pianura.

Non idonei risultano anche gli indicatori di salinità (ICs), respirazione microbica (Irm) e fosforo assimilabile (ICp). Il trend di questi tre indicatori non è stato quello atteso, situazione imputabile tanto alla conduzione agricola quanto alle probabili caratteristiche dei terreno.

Anche le rilevazioni cartografiche hanno mostrato indicatori, fra quelli selezionati, poco idonei allo scopo della ricerca. Fra questi ricordiamo la percentuale di superficie naturale (ISh) e la lunghezza della rete scolante funzionante (ILi). Per quanto riguarda le superfici naturali, si è osservato un lieve incremento solo nell'azienda biologica di pianura. La situazione era opposta in collina dove è stato osservato una drastica riduzione della superficie naturale. Situazione analoga si è osservata per l'indicatore che valuta la lunghezza dell'idrografia aziendale. A fronte di un aumento della rete scolante in pianura, si è osservato un andamento opposto in collina. La mancata univocità fra i due scenari potrebbe essere imputato, nel caso collinare, ad una maggiore presenza di versamenti la cui direzione di flusso sia difficile da osservare mediante sopralluoghi aziendali. Gli indicatori rilevati mediante analisi GIS e che si sono mostrati idonei a discriminare la conduzione convenzionale da quella biologica, sono stati: il numero di ambienti naturali (ICh) e la lunghezza delle siepi (ILs).

Fra tutti gli indicatori in esame, quelli che hanno risposto adeguatamente, sia per conduzione che per scenario, sono quelli relativi alla valutazione della biodiversità vegetale. Sia a livello aziendale che a livello di singole parcelle gli indicatori di diversità e ricchezza di specie vegetale hanno risposto univocamente, mostrando un incremento di biodiversità nella gestione biologica. Questi risultati attestano in pieno quanto la gestione organica tuteli qualitativamente e quantitativamente della flora edafica.

Di seguito sono riportati i grafici polari relativi agli indicatori vagliati nei due scenari (grafico 14 e 15), come sintesi delle valutazioni effettuate. I valori rappresentati nei diagrammi polari sono stati preventivamente normalizzati, riferiti cioè al valore medio.

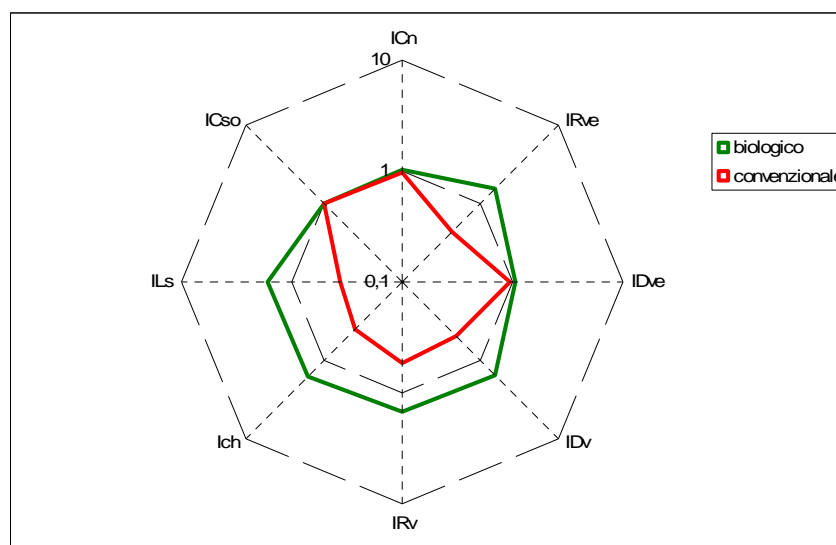


Grafico 14 – Indicatori risultati idonei nello scenario di pianura.

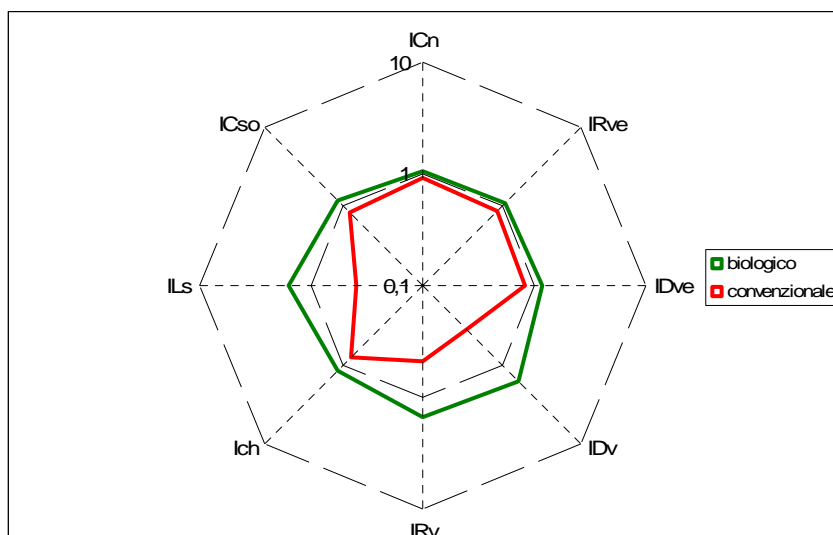


Grafico 15 – Indicatori risultati idonei nello scenario di collina.

Conclusioni

La ricerca ha mirato alla valutazione dell'impatto ambientale dell'agricoltura biologica, definendo strumenti di comparazione con l'agricoltura tradizionale. Tali strumenti sono gli indicatori agroambientali, interessanti chiavi valutative dell'agroecosistema, ma ancora privi di uno schema valutativo univoco. Il protocollo usato per la stima degli indicatori ha presentato complessità sia nella scelta che nell'utilizzo operativo degli stessi. Tali aspetti sono legati sia alla complessità del sistema da valutare che all'obiettivo da perseguire. Trattandosi della valutazione di aspetti agronomici legati alla diversa conduzione si è tenuto conto della scala. Sono stati scelti pertanto indicatori del comparto suolo, per la valutazione sia di parametri a scala aziendale che parcellare. La fase successiva della metodica ha previsto la messa a punto degli indicatori con contenuto informativo diverso. Sono stati infatti scelti indicatori di natura chimico-fisica, vegetale e del paesaggio. Nello schema investigativo il confronto tra le due conduzioni, biologiche e convenzionali, è stata valutata anche a livello di due distinte realtà: quella collinare e quella di pianura. Dalle informazioni ottenute è stato possibile stimare l'impatto dell'agricoltura biologica sull'ambiente.

Il protocollo di rilievo si è basato su tre tipologie di analisi valutative: le analisi di laboratorio, i rilievi vegetazionali e le analisi cartografiche.

Attraverso le analisi di laboratorio è stato possibile valutare parametri chimico-fisico del suolo. Parametri relativi alla vegetazione e alle strutture del paesaggio sono stati valutati con i sopralluoghi territoriali e le analisi GIS.

Nel complesso gli indicatori che si sono mostrati più idonei all'obiettivo della ricerca sono quelli ottenuti attraverso i rilievi floristici. Questi hanno mostrato differenze sia a livello di conduzione che a livello di scenario, avvantaggiando la gestione organica più che quella convenzionale.

Meno confortanti sono state le determinazioni analitiche delle caratteristiche chimiche-fisiche del suolo per i quali gli indicatori valutati sono risultati non idonei a discriminare le due conduzioni sia nello scenario di pianura che in quello di collina.

Anche i rilievi cartografici sono risultati non del tutto idonei a discriminare le due conduzioni. Essi hanno rappresentato molto bene l'eterogeneità del paesaggio nei due scenari, meno le differenze tra le due conduzioni.

I principali problemi riscontrati nel valutare gli indicatori sono stati di natura sia comunicativa che economica. Ci si è eretto conto dell'esigenza di un approfondimento della conoscenza sia delle aziende in questione che delle tecniche agronomiche usate.

Dal punto di vista economico, la produzione dei dati ha richiesto non poco dispendio di risorse umane e finanziarie. Questi fattori hanno inciso sulla selezione degli indicatori, tenendo conto anche delle dimensioni e della complessità delle aziende oltre che della distribuzione spazio-temporale dei campioni prelevati.

Dal punto di vista umano, la parte più impegnativa è stata sicuramente la pianificazione del lavoro, inteso come analisi dello scenario, distribuzione dei punti di campionamento ed elaborazione dei dati. Dispendio economico hanno richiesto le analisi di laboratorio mentre i rilievi floristici hanno richiesto adeguata formazione tecnico-scientifica e dimestichezza con le scale tassonomiche di identificazione delle specie rinvenute.

Nel complesso l'analisi condotta ha delineato un valido set di indicatori atti a discriminare le differenze fra la conduzione organica e convenzionale.

Gli indicatori analizzati hanno messo in luce attributi dell'agricoltura biologica intesa in termini di maggiore apporto di sostanza organica e macroelementi come l'azoto, maggiore biodiversità delle fasce vegetate e dei bordi campo. Quest'ultimo vantaggioso aspetto ecologico pone le basi per auspicare ed incentivare l'approccio biologico.

Tutti i valori ottenuti sono da considerare puramente indicativi, soggetti a variazioni ed approfondimenti successivi.

Bibliografia

AA VV, 2000. Metodi di analisi chimica del suolo. FrancoAngeli Editore.

Altieri M.D., 2008. Agroecology: the science to transition organic farming towards a truly sustainable and equitable form of agriculture in: the XXI century, comunicazione al 16mo Congresso IFOAM, Modena 16-20 giugno 2008.

Amato M., Migliozi A., Mazzoleni S., 2004. Il sistema suolo-vegetazione. Liguori editore, Napoli.

Anderson T.H., Domsch K.H., 1993, The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25, 393-395.

ANPA, 2001. Le piante come indicatori ambientali. RTI CTN_CON 1/2001: 108 pp.

Baumol W. J., Oates W. E., 1994. The Theory of Environmental Economics. Seconda edizione, Cambridge: Cambridge University Press.

Bayne B. L., Brown D. A., Bums K., Dixon D. R., Ivanovinci A., Livingstone D. R., Lowe D. M., Moore M. N., Stebbing A. R. D., Widdows J., 1985. the effects of stress and pollution on marine animals. Prager Scientific.

Bechini L., Bergamo D., Biino U., Silvestri S., Zanichelli I., Bocchi S., Gonfalonieri R., 2001. Using simulation models to set up agroecological indicators of farming systems. *Proc. 2nd International Symposium Modelling Cropping Systems*. Florence 16-18 July. 101-102.

Behan-Pelletier, V.M., 1999. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agr. Ecosyst. Environ.* 74, 411-423.

Benedetti A., De Bertoldi S., 2000. Qualità del suolo: criteri di definizione. *Rendiconti della Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. Serie V*, vol. XXIV, parte II, 189-204.

Biondi E., 1996. La geobotanica nello studio ecologico del paesaggio. *Ann. Acc. Ital. Sc. Forest.* 45, 3-39.

Bockstaller C. Girardin P., 2003. How to validate environmental indicators. *Agricultural Systems*, 76:639-653.

Bockstaller C., Girardin P., 1996. Use of agro-ecological indicators on the evaluation of farming systems. In: van Ittersum M. K., van de Geijn (eds.). *Proc. 4th ESA Congress*, Elsevier, Amsterdam, 414-415.

Boller E.F., Hani F., Poehling H.-M., 2004. Ideabook on functional biodiversity at the Farm Level. Temperate Zones of Europe. eds., Ecological infrastructures. Eschikon 28. www.idl.ch., 212 pp.

Bollettino Ufficiale Regione Emilia Romagna n. 97, 11 giugno 2007.

Braun-Blanquet J., 1932. Plant sociology. McGraw Hill, London New York.

Brookes P.C., 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, 19: 269-279.

Brookes P.C., Heijnen C.E., McGrath S.P., Vance E.D., 1986. Soil microbial biomass estimates in soils contaminated with metals. *Soil Biology and Biochemistry*, 18, 383-388.

Bruulsema T., 2003. Productivity of Organic and Conventional Cropping Systems, in OECD, *Organic Agriculture. Sustainability, markets and policies*, Wallingford: CABI, 95-99.

Carlise E., 1972. The Conceptual Structure of Social indicators. In A. Shonfield and S. Shaw (eds.) *Social indicators and Social polity*. Heinemann London, 23-32.

Celli G., 1993. L'ape come indicatore biologico. *Lettura all'Accademia Nazionale di Entomologia*. Firenze, 27.02.1993.

Celli G., Porrini C., 1991. L'ape, un efficace bioindicatore dei pesticidi. *Le Scienze* n. 274, Giugno 1991, 42-54.

COM 2000 20 UE def.

COM 2001 144 UE def.

COM 2002 179 UE def.

Dabbert S. 2003. Organic agriculture and sustainability: environmental aspects, in: *Organic Agriculture: sustainability, markets, policies*, OECD, CABI publishing.

Doran J.W., Parkin T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: *Defining soil quality or a sustainable environment* (Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicsek D.F. and Stewart B.A. (eds.)), SSSA Inc Madison, USA.

Eurostat, 1999. *Towards Environmental Pressure Indicators for the UE*.

Farina A., 1993. *L'ecologia dei sistemi ambientali*. Cleup Editrice, Padova, p.199.

Giupponi C., 1998. Environmental evaluation of alternative cropping systems with impact indices of pollution. *European Journal of Agronomy*, 8:71-82.

- Glanz J. T., 1995. Saving our soil: solutions for sustaining Earth's vital resource. Johnson Books, Boulder, Colorado.
- Griffith B.S., Ritz K., Ebbelwhite N. and Dobson G., 1999. Soil microbial community structure: effects of substrate loading rates. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 145-153.
- Holt J. G., Krieg N.R., Sneath P.H.A., Staley J. T., Williams S. T., 1994. *Bergey's manual of determinative bacteriology*, Williams and Williams, Baltimore, USA.
- Huhn G., Schulz H., 1996. Contents of free amino acids in scots pine needles from field sites with different levels of nitrogen deposition. *New Phytol.*, 134, 95-101.
- Iserentant R., de Sloover J., 1976. Le concept de bioindicateur. *Mém. Soc. Roy. Belgique (Bruxelles)*, 7:15-24.
- Isermeyer H., 1952. Eine einfache methode zur bestimmung der bodenatmung und der carbonate im boden. *Z. Pflanzenernäh Bodenk*, 56:26-38.
- Jenkinson D.S., Ladd J.N., 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul E.A., Ladd J.N. (eds.), *Soil Biochemistry*, Vol 5, Marcel Dekker, New York, pp. 415-471.
- Jesinghaus J., 1999. An European System of Environmental Pressure Indices (ESL)-*Environmental Pressure Indices Handbook: the Indicators*.
- Lavelle P. e Spain A.V., 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Lazzerini G., Rovari M., Brunori G., Failoni M., 2001. *Contabilità Ambientale in Agricoltura Toscana*. Il sole 24 ore, Roma, 82 pp.
- Lazzerini G., Rovari M., Brunori G., Failoni M., 2001. *Contabilità ambientale in agricoltura toscana*. Il Sole 24 ore Spa, Roma, pp. 82.
- Lazzerini G., Vazzana C., Pacini C.G., 2001. Il ruolo degli indicatori per la costruzione di una metodica di contabilità ambientale aziendale in agricoltura. *Simposio internazionale Le regioni: approcci per uno sviluppo sostenibile trento*, 6-7 dicembre 2001.
- Lazzerini G., Vazzana C., Pacini C.G., Brunori G., Rovari M., Omodei Zorini L., 2001. La contabilità ambientale: un nuovo strumento per valutare la sostenibilità in agricoltura. *XI Congresso Nazionale Società Italiana di Ecologia*, Sabaudia 12-14 settembre 2001.
- Loreau M., Naeem S., Inchausti P., Bengtsson J., Grime J.P., Hector A., et al., 2001. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*. 294, 804 – 808.
- Mader P., Ließbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P., Niggli U. 2002. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming, *Science*, vol. 296, n. 5573, pp. 1694-1697.

Malceschi S., 1984. Indicatori eterogenei e bilanci di impatto ambientale. Elementi per un paradigma di collegamento. In: P. Schmidt di Friedberg (eds): Gli indicatori ambientali: valori metri e strumenti nello studio dell'impatto ambientale. Milano: Franco Angeli, 883-914.

Malczewsky J., 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. Wiley, 392 pp.

Merlo M., Gatto P. 1999. The economic Nature of Stewardship: Complementary and Trade-offs with Food and Fibre production, in Van Huylenbroeck G., Whitby M. (a cura di), Countryside Stewardship: Farmers, Policy and Markets, Pergamon, Amsterdam-Oxford.

Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, L'agricoltura biologica in cifre al 31/12/2003", www.politicheagricole.it, 2004.

Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del Suolo, 1994. Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo con commenti ed interpretazioni. ISMEA, Roma.

Ministero per le Politiche Agricole, 1997. Metodi ufficiali di analisi fisica del suolo. D.M. del 1° agosto 1997, Gazzetta Ufficiale n. 204 del 2.09.97.

Ministero per le Politiche Agricole, 1999. Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo. D.M. del 13/09/99, Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21.10.99.

Mishan E.J. 1971. The postwar literature on externalities: an interpretative essay, Journal of Economic Literature, n. 9, pp. 1-28.

Nappi P., 2000. Rappresentare la qualità del suolo mediante indicatori e indici: l'esperienza del Centro Tematico Nazionale del suolo e siti contaminati. Rendiconti della Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. Serie V. vol. XXIV, parte II, 250-274.

Nimis P. L., 1994. Tecniche di biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico basate sull'utilizzo di licheni come bioindicatori e bioaccumulatori. Biologi Italiani, 8:27-31.

Oades J.M., 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implication for management. Plant Soil, 76: 319-337.

Odum E.P., 1969. The strategy of ecosystem development. Science, 164, 242-270.

OECD 1993. Core set of indicators for environmental performance reviews. A synthesis report by the Group on the State of the Environment. OECD, Paris, 35p.

OECD 1999. Environmental indicators for Agriculture. Vol.2, Issues and Design. The York workshop.

OECD, 2001, Sustainable Development: Critical Issues, Paris, France.

Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., Dean L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA circular 939. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C.

Pacini C., Wossink A., Giesen G., Vazzana C., Huirne R., 2002. Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95:273-288.

PAIS, 2003. Proposal on Agri-Environmental Indicators. Landsis g.e.i.e., Luxembourg, Germany, United Kingdom.

Paul E.A., Clark F.E., 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, San Diego USA.

Pimentel D., Hepperly P. Hanson J. Seidel R. Douds D., 2005. Organic and conventional farming systems: environmental and economic issues, Report 05-1 USDA.

Pinzani F., Trinchera A., Benedetti A., 2000. Indicatori di qualità del suolo in ecosistemi mediterranei. Atti del convegno dell'accademia nazionale delle scienze detta dei XL, 118°, volume XXIV, pp. 299-308.

Porrini C., 1999. Metodologia impiegata nei programmi di monitoraggio dei pesticidi con api in: *Proceedings of the Workshop "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale"*, November 26-27, 1998, Rome, Italy (Piccini, C. and Salvati, S., Eds.), ANPA, Rome, Italy, Series 2/1999, pp. 311-317.

Salinas-Garcia J.R., Hons F.M., Matocha J.E., 1997. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61: 152-159.

Schoenholtz, S.H., Van Miegroet, H., Burger, J.A., 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* 138: 335-356.

Shannon C.E., Weaver W., 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, 117.

Silvestri N., Bellocchi G., Bonari E., 2002. Possibilità e limiti dell'uso degli indicatori nella valutazione agro-ambientale dei sistemi colturali. *Riv. Agron.*, 36:233-242.

SINAB, L'agricoltura biologica in cifre al 31/12/2007, Roma: www.sinab.it, 2008.

Smending F.W., 1995. Protocol naturplan. Wageningen (NL), politecnico agrario di Wageningen, Dipartimento di Agricoltura Ecologica, 137p.

Sparling G. P., 1997. Soil Microbial Biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: *Biological Indicators of soil health*, CAB INTERNATIONAL eds. C.E. Pankhurst, B. M. Double and V.V.S.R. Gupta, pp. 97-119.

Springer U., Klee J., 1954. Prüfung der Leistungsfähigkeit von einigen wichtigeren verfahren zur bestimmung des kohlenstoffs mittels chromschwefelsäure sowie vorschlag einer neuen schnellmethode. Z. Pflanzenernähr. Dang. Bodenk, 64:1.

Stöckle C. O., Papendick R. I., Saxton K. E., Campbell G. S., van Evert F. K., 1994. A framework for evaluating the sustainability of agricultural production systems. American Journal of Alternative Agriculture, 1-2:45-50.

Sukkel W., Garcia Diaz A., 2002. Final report on the VEGINECO project. Lelystad.

Torsvik V.L., Sørheim R. and Goksøyr J. (1996). Total bacterial diversity in soil and sediment communities - a review. Journal of Industrial Microbiology 17: 170-178.

Trisorio A., 2004. Misurare la sostenibilità. Indicatori per l'agricoltura italiana, INEA.

Van der Maaler E., 1972. On the tranformation of cover-abundance values in phytosociology. Report Bot. Lab, Nijmegen.

Vance E. D., Brookes P.C., Jenkinson D.S., 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem. 19, No 6:703-707.

Vazzana C., Raso E., 1997. Una metodologia europea per la progettazione e la realizzazione di un agroecosistema a basso o nullo impatto ambientale. S.I.T.E. Notizie, Bollettino della Società Italiana di Ecologia, Vol. XVII, numero unico, 51-54.

Vazzana C., Raso E., Pieri S., 1996. Relazione dell'incontro sul tema "Confronto tra diversi sistemi agricoli in colture erbacee". Azienda agricola Montepaldi 19 giugno 1996. Firenze: Tipografia Effe Emme. 37p.

Vazzana C., Raso E., Pieri S., 1997. Una nuova metodologia europea per la progettazione e gestione di agro sistemi integrati ed ecologici: un'applicazione in un'area agricola toscana. Rivista Agronomica, 31, 2, 425-442.

Wascher, 1999. ELISA-Environmental Indicators for Sustainable Agriculture, Final Project report.